

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
19. April 2001 (19.04.2001)

PCT

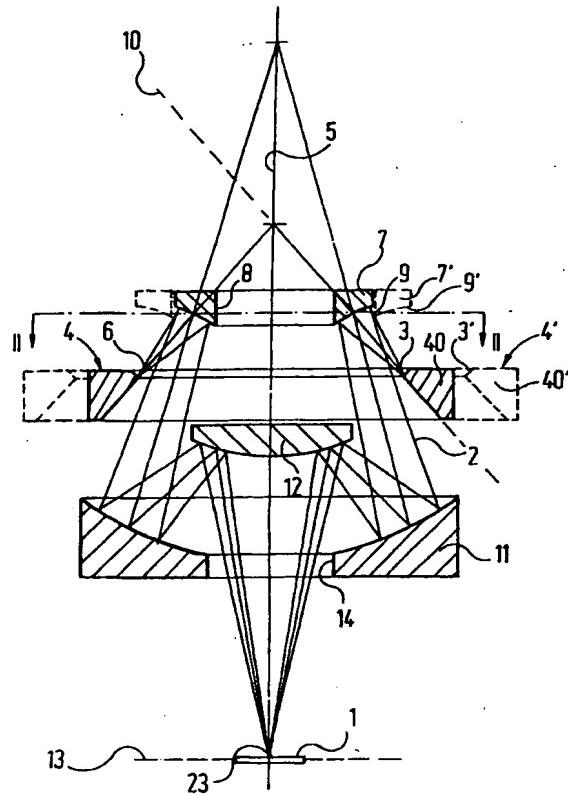
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 01/26859 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation⁷: B23K 26/02, 26/06, C02B 27/14, H01S 5/40
- (71) Anmelder und
(72) Erfinder: KLEINHUBER, Harald, G. [DE/FR]; 96, avenue de Vallon, F-06640 St. Jeannet (FR).
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP00/09683
- (74) Anwälte: OSTERTAG, Ulrich usw.; Eibenweg 10, 70597 Stuttgart (DE).
- (22) Internationales Anmeldedatum:
4. Oktober 2000 (04.10.2000)
- (81) Bestimmungsstaaten (*national*): CA, JP, US.
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (84) Bestimmungsstaaten (*regional*): europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
199 49 198.4 13. Oktober 1999 (13.10.1999) DE
- Veröffentlicht:
— Mit internationalem Recherchenbericht.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: DEVICE WITH AT LEAST ONE LIGHT SOURCE, COMPRISING SEVERAL INDIVIDUAL LIGHT SOURCES

(54) Bezeichnung: VORRICHTUNG MIT MINDESTENS EINER MEHRERE EINZEL-LICHTQUELLEN UMFASSENDEN LICHTQUELLE



(57) Abstract: A device with at least one light source, comprising several individual light sources (3, 3') and an optical arrangement. At least two individual light sources (3, 3') comprise a light-emitting surface with different, long axes perpendicular to each other. At least two individual light sources (3, 3') form at least one individual light source grouping (4, 4'), which is arranged coaxially to the optical axis (5) of an astigmatic optical element (7). Said astigmatic optical element (7) is impinged upon by the emitted bundles (2) from the individual light sources. One axis of the emission surface of an individual light source (3) lies on the meridional plane of the astigmatic optical element (7). Said plane is defined through the mid-point of the emission surface. The other axis of the emission surface lies on the corresponding sagittal plane. The astigmatic optical element (7) has different imaging characteristics on the respective meridional and sagittal planes for each light source (3), whereby each emitted bundle (2), in the light path to the astigmatic optical element (7), comprises a cross-sectional area with essentially equally long axes, on at least one compensation plane (13) which is perpendicular to the optical axis of the astigmatic optical element (7). All emitted bundles (2) are guided by bundle-guiding components (7, 11, 12, 7') on to a working plane (13), which is either formed by the compensation plane, or an optical plane which is common to all beams. A working beam of high intensity is thus generated by superimposition of the emitted bundles.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 01/26859 A1



Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes, und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(57) Zusammenfassung: Eine Vorrichtung umfaßt mindestens eine mehrere Einzel-Lichtquellen (3, 3') umfassende Lichtquelle und eine optische Anordnung. Mindestens zwei Einzel-Lichtquellen (3, 3') weisen eine Emissionsfläche mit unterschiedlich langen, senkrecht aufeinander stehenden Achsen auf. Mindestens zwei Einzel-Lichtquellen (3, 3') bilden mindestens eine koaxial zur optischen Achse (5) eines astigmatischen optischen Elements (7), das von den Emissionsbündeln (2) der Einzel-Lichtquellen beaufschlagt ist, angeordnete Einzel-Lichtquellengruppe (4, 4'). Jeweils eine Achse der Emissionsfläche einer Einzel-Lichtquelle (3) liegt in einer durch den Mittelpunkt der Emissionsfläche definierten Meridionalebene des astigmatischen optischen Elements (7). Die andere Achse der Emissionsfläche liegt in der entsprechenden Sagittalebene. Das astigmatische optische Element (7) hat in den den jeweiligen Einzel-Lichtquellen (3) zugeordneten Meridional- und Sagittalebenen unterschiedliche Abbildungseigenschaften. Diese sind derart, daß jedes Emissionsbündel (2) im Strahlengang nach dem astigmatischen optischen Element (7) in mindestens einer Ausgleichsebene (13), die senkrecht zur optischen Achse (5) des astigmatischen optischen Elements (7) steht, eine Querschnittsfläche mit im wesentlichen gleich langen Achsen aufweist. Alle Emissionsbündel (2) werden von bündelführenden Komponenten (7, 11, 12, 7') in eine Arbeitsebene (13) geführt, die entweder von der Ausgleichsebene oder einer allen Strahlenbündeln gemeinsamen Bildebene gebildet wird. Aus den Emissionsbündeln (2) wird so durch Überlagerung ein Arbeitsstrahlbündel hoher Flächenleistung erzeugt.

Vorrichtung mit mindestens einer mehrere
Einzel-Lichtquellen umfassenden Lichtquelle

05

=====

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung mit mindestens
einer mehrere Einzel-Lichtquellen umfassenden Lichtquelle
gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

10

Derartige Vorrichtungen finden ihren Einsatz dort, wo das
Licht mehrerer Einzel-Lichtquellen z.B. zur Leistungs-
steigerung in einem relativ kleinen räumlichen Arbeitsbe-
reich überlagert werden soll. Derartige Anwendungen liegen
15 in der Materialbearbeitung, z.B. beim Laserschweißen,
-schneiden oder -bohren, aber auch im Bereich der Telekom-
munikation, wenn in einem durch eine optische Faser
realisierten Datenübertragungskanal eine hohe Lichtleistung
zur Informationsübertragung über weite Strecken ohne
20 zwischengeschaltete Verstärker erfolgen soll.

Bei bekannten derartigen Vorrichtungen eingesetzte Einzel-
Lichtquellen sind Laserdioden-Arrays, die auch als Barren
bezeichnet werden. Ein derartiges Laserdioden-Array weist
25 eine Vielzahl von in einer Reihe angeordneten einzelnen
Laserdioden auf. Ein Hochleistungs-Laserdioden-Array hat
eine Ausgangs-Lichtleistung von etwa 50 W. Typische
Emissionsflächen derartiger Laserdioden-Arrays haben eine
Längsseite (lange Achse) von typ. 10 mm und eine Schmal-
30 seite (kurze Achse) von typ. weniger als 1 mm, z.B. 0,6
mm oder auch 0,02 mm. Dabei ist die Strahldivergenz des
von den Laserdioden-Arrays emittierten Lichtes in den
Ebenen parallel zur kurzen Achse der Emissionsfläche um
typisch einen Faktor 3 größer als in den dazu senkrechten
35 Ebenen.

Es ist bekannt, derartige Laserdioden-Arrays aufeinander in sogenannte Stacks zu stapeln. Die Emissionsbündel der einzelnen Emissionsflächen der Laserdioden-Arrays innerhalb
05 des Stacks werden überlagert, um die Lichtleistung des gesamten Stacks zu nutzen. Hierbei ist es bekannt, jedem Einzel-Emitter innerhalb der im Stack gestapelten Laserdioden-Arrays eine Mikrolinse zuzuordnen, die das Emissionsbündel eines Einzel-Emitters kollimiert und somit die
10 Abbildung eines Einzel-Emitters auf das Einkoppelende einer diesem zugeordneten optischen Faser ermöglicht. Auf diese Weise ist einem Laserdioden-Array oder auch einem Stack eine Vielzahl von Fasern zugeordnet, die in einem Faserbündel geführt werden können. Das Auskoppelende des
15 Faserbündels kann dann zur Erzeugung eines Arbeits-Laserstrahlbündels abgebildet werden.

Die Handhabung eines derartigen Mikrolinsen-Arrays ist relativ kompliziert, da die Mikrolinsen nahe an die
20 Einzel-Emitter herangeführt werden müssen und die Justage dementsprechend kritisch ist. Zusätzlich ist bei Einsatz von Mikrolinsen in Verbindung mit Hochleistungs-Laserdioden-Arrays die Herstellung und die Materialauswahl sehr kritisch, da kleinste Absorptionen bei der Emissions-
25 wellenlänge der Laserdioden zu einer nicht tolerablen Aufheizung der Mikrolinsen führen.

Daneben ist es bekannt, die Emissionsbündel von Laserdioden-Arrays mit unterschiedlichen Emissionswellenlängen über
30 dichroitische Einkoppelspiegel zur überlagern. Dabei ergibt sich der Nachteil, daß nur Laserdioden unterschiedlicher Wellenlänge auf diese Weise überlagerbar sind.

Es ist daher die Aufgabe der vorliegenden Erfundung, eine
35 Vorrichtung der eingangs genannten Art derart weiterzubil-

den, daß eine effiziente Überlagerung der Einzel-Lichtquellen mit einer kompakten optischen Anordnung mit möglichst niedrigen Verlusten und geringem Justieraufwand ermöglicht wird.

05

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch eine Vorrichtung mit den im Anspruch 1 angegebenen Merkmalen.

- Die koaxiale Anordnung der Einzel-Lichtquellengruppe
10 erlaubt eine Unterbringung einer Mehrzahl von Einzel-Lichtquellen relativ kompakt um das astigmatische optische Element herum. Gegebenenfalls erforderliche Versorgungs- und/oder Kühleitungen können einfach vom Strahlengang entfernt, nämlich auf der der optischen Achse abgewandten
15 Seite der Vorrichtung geführt sein.

Der Astigmatismus des astigmatischen optischen Elements gewährleistet, daß die Abbildungseigenschaften der optischen Anordnung an die in den beiden Hauptachsen verschieden Strahlbündelparameter, d.h. an Bündelquerschnitt und die Divergenz, der Einzel-Lichtquellen angepaßt werden können. Einer Hauptebene des astigmatischen optischen Elements ist dabei jeweils eine Achse der Emissionsfläche einer Einzel-Lichtquelle zugeordnet. Durch das astigmatische optische Element werden die Emissionsbündel der Einzel-Lichtquellen in eine Ebene überführt, in der die Querschnittsfläche der Emissionsbündel in zwei senkrecht aufeinander stehenden Richtungen gleiche Abmesungen hat. Nachfolgend wird zur Bezeichnung dieses
25 Sachverhalts der Begriff "gleich lange Achsen" verwendet. Diese Ebene, Ausgleichsebene genannt, kann entweder gleichzeitig die Arbeitsebene darstellen oder in eine solche abgebildet werden. Aus den die Emissionsflächen der einzelnen Einzel-Lichtquellen mit ungleich dimensionierten
30 Achsen verlassenden Strahlenbündeln werden auf diese Weise
35

Einzel-Lichtquellestrahlbündel mit einer Querschnittsfläche mit gleichen Achsen, die sich in der Arbeitsebene überlagern.

- 05 Das durch Überlagerung entstandene Arbeitsstrahlbündel kann dann z.B. bei der Materialbearbeitung oder auch bei einer Telekommunikations-Anwendung eingesetzt sein. Das Einsatzgebiet "Materialbearbeitung" ist dabei nicht auf Fertigungstechnik beschränkt, sondern umfaßt auch z.B.
- 10 die Medizintechnik.

Die optische Vorrichtung kann mit hocheffizient bündelführenden Komponenten ausgeführt sein, so daß praktisch keine Verluste bei der Bündelführung auftreten.

- 15 Gemäß Anspruch 2 aufgebaute Einzel-Lichtquellen aus neben-einander angeordneten Einzel-Emittern weisen Emissionsflächen mit unterschiedlich langen Achsen auf, deren Strahlungen mit dem astigmatischen optischen Element auf einfache Weise zu einem Arbeitsstrahlbündel überlagert
- 20 werden können.

- Die Verwendung von Laserlicht gemäß Anspruch 3 ermöglicht Arbeitsstrahlbündel mit besonders gut anpaßbaren optischen Eigenschaften und dem Potential zur Erzeugung sehr hoher
- 25 Flächenleistungen. Mit Laserlicht hoher Intensität läßt sich zudem über bekannte Frequenzkonversionsverfahren eine Spektralquelle in einem gewünschten Spektralbereich realisieren.
- 30 Laserdioden gemäß Anspruch 4 sind effiziente Laser, die in hoher Anzahl auf einer relativ kleinen Fläche untergebracht werden können. Dies führt zu einem kompakten Aufbau der Vorrichtung.
- 35 Mittels eines Faserbündels gemäß Anspruch 5 kann auch

die Strahlung einer beliebigen anderen Einzel-Lichtquelle bei der optischen Anordnung der Vorrichtung eingesetzt werden. Die Auskoppelbündel aus herkömmlichen optischen Fasern haben Strahlparameter, die denjenigen von Laserdioden recht ähnlich sind, so daß mit den im Prinzip gleichen Abbildungseigenschaften eines astigmatischen optischen Elements gearbeitet werden kann.

Ein Festkörperlaser gemäß Anspruch 6 ist ein kompakter Laser hoher Strahlqualität und Leistung.

Die Anordnung der Einzel-Lichtquellen gemäß Anspruch 7 führt zu einer im wesentlichen rotationssymmetrischen Vorrichtung, in der eine Mehrzahl von Einzel-Lichtquellen kompakt integriert ist. Die astigmatische Abbildung der individuellen Emissionsflächen mit unterschiedlich langen Achsen ist dabei mit einem einzigen astigmatischen optischen Element möglich.

Bei der Verwendung einer Leistungsregelungseinrichtung gemäß Anspruch 8 lassen sich die Einzel-Lichtquellen einzeln oder gruppenweise zu- oder abschalten, so daß gewollte Änderungen der Intensitätsverteilung des Arbeitsstrahlbündels z.B. durch die Kontrolle von Laserdiodenströmen durch die Leistungsregelungseinrichtung erreicht werden können. Auch Inhomogenitäten der Flächenleistungsverteilung des Arbeitsstrahlbündels lassen sich durch eine entsprechende Ansteuerung der Leistungsregelungseinrichtung ausgleichen.

Prinzipiell ist mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung eine Überlagerung von Einzel-Lichtquellen von ein und derselben Wellenlänge möglich. Für bestimmte Anwendungen kann es jedoch vorteilhaft sein, Einzel-Lichtquellen unterschiedlicher Emissionswellenlängen gemäß Anspruch 9

einsetzen. Derartige Anwendungen sind der wellenlängenselektive Materialschichtabtrag eines Werkstücks, der weiter unten noch näher beschrieben wird, sowie das Multiplexen von Datenübertragungskanälen in der Telekommunikation.

Ein gemäß Anspruch 10 geformtes astigmatisches optisches Element kann kostengünstig hergestellt werden, da die Krümmung in einer Abbildungsebene, nämlich der Sagittalebene, durch die Ringkrümmung vorgegeben wird. Damit ist das Schleifen der abbildenden Oberfläche des astigmatischen Elements z.B. mit einer auf einer kreisförmigen Bahn geführten Schleifkugel möglich. Eine Winkeljustierung dieses optischen Elementes gegenüber den Einzel-Lichtquellen ist nicht erforderlich.

Eine Facettierung des astigmatischen optischen Elements gemäß Anspruch 11 ermöglicht dagegen eine von der Ringform des astigmatischen optischen Elements unabhängige Krümmung der abbildenden Oberfläche. Dies führt zu einer größeren Bandbreite der anpassbaren Strahlparameter der Emissionsbündel der Einzel-Lichtquellen. Zum Beispiel ist ein astigmatisches optisches Element fertigbar, das sowohl in der Meridional- als auch in der Sagittalebene konkav gekrümmmt ist. Beliebige weitere Kombinationen von konkaven bzw. konvexen Krümmungen in der Meridional- und der Sagittalebene sind möglich.

Der Einsatz eines Reflektors gemäß Anspruch 12 führt bei einer Anwendung der Vorrichtung zur Materialbearbeitung, in der ein großer Anteil des Arbeitsstrahlbündels vom Werkstück nach oben reflektiert wird, zu einer Erhöhung der Strahlungsintensität im Arbeitsbereich. Dies führt z.B. beim Beginn eines Laserschneid- oder Bohrvorgangs, dem sogenannten Einstechvorgang, zur kurzzeitigen Er-

höhung der Leistungsdichte im Bearbeitungsbereich.

Bündelführende optische Komponenten mit einer zentralen Öffnung gemäß Anspruch 13 führen zur Möglichkeit des

05. Einsatzes zusätzlicher Einrichtungen, die Steuer- und Regelvorgängen und/oder der Materialbearbeitung selbst dienen. Auch ein Justierlaser kann durch die zentrale Öffnung geführt sein. Bei koaxialer Verwendung mehrerer Lichtquellen mit zugehörigen optischen Anordnungen ist
- 10 es auch denkbar, daß das Arbeitsstrahlbündel einer ersten Lichtquelle durch die zentrale Öffnung der optischen Komponenten einer zu einer zweiten Lichtquelle gehörenden optischen Anordnung hindurchgeführt wird, so daß eine Überlagerung der Arbeitsstrahlbündel mehrerer Lichtquellen
- 15 möglich ist.

Die Anordnung des Reflektors gemäß Anspruch 14 führt zu dessen kompakter Unterbringung.

- 20 Durch die koaxiale Anordnung der Einzel-Lichtquellengruppe werden die Emissionsbündel der Einzel-Lichtquellen zunächst entfernt von der optischen Achse der optischen Anordnung emittiert. Verläuft der ganze Strahlengang in der optischen Anordnung bis zum Überlagerungsbereich der Emissionsbündel
- 25 zum Arbeitsstrahlbündel von der optischen Anordnung gemäß Anspruch 15 entfernt, können auch die die Emissionsbündel der Einzel-Lichtquelle führenden optischen Komponenten im mittleren Bereich ausgespart sein und dadurch den freien Raum zur Verfügung stellen, der sich in unter-
- 30 schiedlicher Weise nutzen läßt.

Eine Sensoranordnung gemäß Anspruch 16 führt zur Möglichkeit der Überwachung des Bearbeitungsbereichs des Werkstücks. Einer derartigen Überwachung zugängliche Größen

- 35 sind z.B. die Wellenlänge der vom Werkstück reflektier-

ten oder reemittierten Strahlung, die Größe des Bearbeitungsbereichs, d.h. die Querschnittsfläche des Arbeitsstrahlbündels in der Arbeitsebene.

- 05 Unter "reflektierter Strahlung" wird solche Strahlung verstanden, die von den Einzel-Lichtquellen ausgeht und von der Werkstückoberfläche gerichtet oder diffus zurückgeworfen wird. In erster Näherung wird die nicht reflektierte Strahlung vom Werkstück absorbiert und erwärmt
- 10 dieses. Daher kann der Anteil der reflektierten Strahlung ein Maß für die Temperatur des Werkstücks sein, da dieses durch die absorbierte Strahlung abhängig von der seiner Wärmeleitfähigkeit und Geometrie auf definierte Weise erwärmt wird. Die isothermischen Linien um den Bearbeitungsbereich haben eine charakteristische Form, die bei nicht gestörten Bearbeitungsprozessen in der Regel sowohl deren Lage als auch deren zeitliche Entwicklung betreffend im voraus berechnet werden können. Die Temperaturmessung erfolgt bei anderen Wellenlängen als den Emissionswellen-
- 15 längen der Einzel-Lichtquellen und dient z.B. der Feststellung einer Prozeßstörung, wobei wahlweise im Bearbeitungsbereich und/oder um den Bearbeitungsbereich herum die Temperatur und ihr zeitlicher Verlauf mit mindestens einem temperaturmessenden Detektorelement erfaßt werden.
- 20

- Unter "reemittierter Strahlung" wird solche Strahlung verstanden, die vom Werkstück ausgeht und durch das vom Werkstück absorbierte Licht der Einzel-Lichtquellen angeregt wird. Die Wellenlänge der reemittierten Strahlung kann z.B. zur Temperaturbestimmung des Bearbeitungsbereiches des Werkstücks herangezogen werden.

- Die reflektierte Wellenlänge gibt darüber hinaus Aufschluß über Zustandsparameter der Einzel-Lichtquellen, bei
- 30 Laserdioden insbesondere darüber, ob sie ausreichend

gekühlt sind, da die Emissionswellenlänge von der Temperatur der Emitter abhängt.

Auch die reflektierte oder reemittierte Gesamt-Strahlungsintensität kann als Meßgröße einer Sensoranordnung sinnvoll sein, wenn z.B. der Beginn oder das Ende eines Schneidvorgangs überwacht werden sollen. Am Beginn eines Schneidvorgangs ist die reflektierte Strahlungsintensität hoch, während sie am Ende des Schneidvorgangs, d.h. dann, wenn das Arbeitsstrahlbündel das Werkstück durchdringt, schlagartig abnimmt. Die Menge der reflektierten Strahlung kann auch zur Bestimmung der Eindringtiefe des Arbeitsstrahlbündels in an und für sich bekannter Weise herangezogen werden.

15

Die Anordnung der Sensoranordnung in dem freien Raum um die optische Achse gemäß Anspruch 17 führt zu ihrer kompakten Integration in die Vorrichtung.

20 Bei einer Sensoranordnung gemäß Anspruch 18 können aus den Meßdaten, die aus dem Bearbeitungsbereich mit der Sensoranordnung gewonnen werden, Steuersignale in der Leistungsregelungseinrichtung berechnet und an die Treiber der Einzel-Lichtquellen weitergegeben werden, so daß 25 eine Feedback-Regelung der Leistungen der Einzel-Lichtquellen zur optimierten Bearbeitungsprozeßkontrolle möglich ist.

Der Einsatz eines optischen Sensors gemäß Anspruch 19 30 führt zur Möglichkeit einer Meßdatenerfassung mit hoher Erfassungsrate und ist berührungslos.

Eine Sensoranordnung gemäß Anspruch 20 erweitert die Möglichkeiten einer Prozeßkontrolle. Zum Beispiel ist 35 ein kontrollierter Materialschichtabtrag möglich, wenn

die abzutragende Materialschicht sich in ihren Reflexions- bzw. Reemissionseigenschaften von der darunterliegenden Materialschicht unterscheidet. Der wellenlängenselektive Filter führt zu Möglichkeit, mit der Sensoranordnung

05 zu unterscheiden, ob die detektierte Strahlung noch von der abzutragenden Materialschicht oder, da sie mit anderer Wellenlänge erfolgt, schon von der darunterliegenden Materialschicht herrührt. Als Ergebnis dieser Information über die momentan bearbeitete Schicht kann z.B. die

10 Leistungsregelungseinrichtung oder eine Fördereinrichtung für das Werkstück angesteuert werden.

Einzel-Lichtquellen unterschiedlicher Emissionswellenlängen können mit einem Filter gemäß Anspruch 21 unabhängig

15 voneinander mit der Sensoranordnung überwacht werden. Bei Verwendung von Einzel-Lichtquellen mit z.B. zwei unterschiedlichen Emissionswellenlängen mit bekannten Ausgangsleistungen ist es möglich, durch die Messung der bei diesen Emissionswellenlängen vom Werkstück reflek-

20 tierten Lichtleistung und die Verhältnisbildung der beiden diesen Lichtleistungen zugeordneten Signalen der Sensor- anordnung eine spektrale Analyse des Bearbeitungsbe- reichs des Werkstücks basierend auf dessen unterschied- licher Absorption bei den beiden Emissionswellenlängen

25 durchzuführen.

Eine Sensoranordnung gemäß Anspruch 22 führt zur Möglich- keit der Überwachung von Form und Größe des Bearbeitungs- bereichs. Unter einem positionsempfindlichen optischen

30 Sensor wird dabei ein Sensor verstanden, der auf Positions- änderungen eines Objekts im Gesichtsfeld des Sensors anspricht. Mit einem derartigen Sensor ist beispiels- weise die Überwachung der Qualität der Überlagerung der Emissionsbündel der Einzel-Lichtquellen im Arbeits- strahlbündel möglich.

Ein Mehrdetektorensensor gemäß Anspruch 23 ist ein Sensor mit benachbarten lichtempfindlichen Bereichen, die unabhängig voneinander ausgewertet werden können.

05

Ein Quadrantendetektor gemäß Anspruch 24 ist eine besonders kostengünstige Variante eines Mehrdetektorensensors.

Ein CCD-Detektor gemäß Anspruch 25 bzw. eine CMOS-Kamera

10 gemäß Anspruch 26 ist ein sehr empfindlicher positions-empfindlicher Sensor. Unter "CCD-Detektor" werden beliebige ein- und zweidimensionale CCD-Anordnungen verstanden.

Ein Schallwellensensor gemäß Anspruch 27 ist preiswert.

15 Bei vielen Anwendungen insbesondere im Bereich der Materialbearbeitung ändern sich Schallwellen-Parameter in den verschiedenen Stadien der Materialbearbeitung. Werden beispielsweise gepulste Einzel-Lichtquellen mit einer bestimmten Repetitionsfrequenz eingesetzt, so kann bei
20 dieser Frequenz empfindlich gemessen werden, ob ein Werkstück mit dem Arbeitsstrahlbündel beaufschlagt ist oder nicht. Auch bei Werkstücken, die aus verschiedenen Materialschichten aufgebaut sind, deren Schall-Abstrahlung als Reaktion auf die Beaufschlagung mit den Einzel-Licht-
25 quellen unterschiedlich ist, ist eine Kontrolle des Materialschichtabtrags mit einem Schallwellensensor möglich.

Mittels einer Auswerteeinrichtung gemäß Anspruch 28

30 ist eine optimale Positionierung des Werkstücks in der Arbeitsebene möglich. Ein bekanntes Arbeitsprinzip einer derartigen elektronischen Auswerteeinrichtung ist das Triangulationsprinzip. Wenn auch eine laterale Bestimmung der Relativposition von Arbeitsbereich und Werkstück
35 möglich ist, kann mit der Sensoranordnung und der Auswer-

teeinrichtung eine Nahtverfolgungseinrichtung realisiert werden.

Die Emissionsflächen der Einzel-Lichtquellen, die Einzel-
05 Lichtquellengehäuse, die Halteeinrichtungen, auf denen die Einzel-Lichtquellen montiert sind, sowie auch die bündelführenden optischen Komponenten können sich durch thermische oder mechanische Belastung verformen. Im Extremfall wird dadurch die Qualität der Abbildung auf
10 nicht tolerierbare Weise vermindert. Mit der Ausgleichseinrichtung gemäß Anspruch 29 werden die die Vorrichtung aufbauenden Bauelemente derart gezielt deformiert oder zueinander positioniert, daß ungewollt auftretende thermische oder mechanische Effekte kompensiert werden.

15 Durch eine sensorgekoppelte Steuereinrichtung gemäß Anspruch 30 ist eine automatische Kompensation der oben angesprochenen thermisch bzw. mechanisch induzierten Deformationen möglich.

20 Gemäß Anspruch 31 wird die Aufgabe der Überwachung der thermischen bzw. mechanischen Deformation von Bauelementen der Vorrichtung auf eine einfache Weise von der den Bearbeitungsbereich überwachenden Sensoranordnung
25 übernommen. Thermische bzw. mechanische Deformationen führen zu einer Verformung des Arbeitsstrahlbündels, die von der Sensoranordnung insbesondere dann erfaßt werden kann, wenn sie einen positionsempfindlichen Sensor umfaßt. Die Änderung der Parameter des Arbeitsstrahlbündels,
30 die so erfaßt werden, dienen als Ist-Werte für die Regelung der Ausgleichseinrichtung.

Alternativ kann gemäß Anspruch 32 die Deformation der Bauelemente der Vorrichtung direkt durch Wegaufnehmer
35 gemessen werden. Als derartiger Wegaufnehmer kann beispiels-

weise ein optisches Interferometer dienen.

Gemäß Anspruch 33 erfolgt die gezielte Deformation von

Bauelementen der Vorrichtung hydraulisch. Dadurch ist

- 05 eine reproduzierbare Deformation mit hoher Genauigkeit auf relativ kostengünstigem Wege erzielbar.

Eine hydraulische Ausgleichseinrichtung gemäß Anspruch

34 ist einfach aufgebaut und arbeitet dennoch präzise.

10

Bei der Ausgestaltung gemäß Anspruch 35 wird eine zusätzliche Kühlfunktion der hydraulischen Ausgleichseinrichtung erzielt.

- 15 Eine Kühleinrichtung gemäß Anspruch 36 führt zu einer besonders guten Wärmeabfuhr der beim Betrieb der Vorrichtung erzeugten thermischen Energie.

Dabei verringert die Ankopplung der Einzel-Lichtquellen

- 20 gemäß Anspruch 37 deren thermisch bedingte Deformation.

Der Einsatz von Keramik gemäß Anspruch 38 ist aus zwei Gründen vorteilhaft: Keramik hat nur einen geringen Wärmeausdehnungskoeffizienten und ist gleichzeitig gut

- 25 wärmeleitend.

Mittels einer Überwachungseinrichtung gemäß Anspruch 39 ist die Funktion der Ausgleichs- bzw. der Kühleinrichtung gut kontrollierbar. Zustandsparameter können

- 30 z.B. die Temperatur des Kühlfluids, der Ionisierungsgrad, die Kühlfluiddurchflußrate sowie die Temperaturdifferenz zwischen dem Ein- und dem Auslaß des Kühlmittels sowie der Kühlmitteldruck sein.

- 35 Piezoelemente gemäß Anspruch 40 eignen sich gut zur

- Deformationskompensation von Bauelementen der Vorrichtung, da ihre Wirkung fein einstellbar sind. Zusätzlich zum reinen Ausgleich thermischer bzw. mechanischer Deformationen können die Piezoelemente auch zur Justage der Einzel-
- 05 Lichtquellen bzw. der bündelführenden optischen Komponenten oder zur Erzeugung beliebiger Strukturen des Arbeitsstrahlbündels in der Arbeitsebene, z.B. einer Linie, eines Rings oder eines Rechtecks, herangezogen werden. Dazu werden jeder Einzel-Lichtquelle oder jeder bündelführenden
- 10 Komponente Piezoelemente zugeordnet, die eine Justage in den erforderlichen Freiheitsgraden ermöglichen.

- Beim Ausführungsbeispiel der Vorrichtung mit dem durchgängigen freien Raum lässt sich auf einfache Weise eine Zusatz-
- 15 Lichtquelle gemäß Anspruch 41 integrieren. Mittels einer derartigen Zusatz-Lichtquelle wird zusätzlich zum Bearbeitungsbereich der Einzel-Lichtquellengruppe ein weiterer Arbeitsfokus zur Materialbearbeitung eingeführt.
- 20 Insbesondere beim Laserschweißen sind mit einer derartigen Vorrichtung Arbeitsverfahren mit zwei einander nacheilenden Brennpunkten möglich, wobei die Strahlparameter der Lasergruppe und der Zusatz-Laserquelle voneinander unabhängig eingestellt werden können. Insbesondere beim
- 25 Laserschneiden sind mit einer derartigen Ausgestaltung der Vorrichtung Arbeitsverfahren mit zwei bezogen auf die optische Achse übereinander liegenden Brennpunkten möglich, wobei die Strahlparameter der Einzel-Lichtquellengruppe und der Zusatz-Lichtquelle unabhängig eingestellt werden
- 30 können. Hierdurch kann eine wesentlich verbesserte Schnittrqualität erzeugt werden.

- Der Einsatz einer Stelloptik für die Zusatz-Lichtquelle gemäß Anspruch 42 führt zu einer von der Position des
- 35 Bearbeitungsbereichs unabhängigen Einstellbarkeit des

Arbeitsfokus.

Durch die Ausgestaltung der Stelloptik gemäß Anspruch
43 wird eine einfache Einstellung der Fokalposition sowie
05 der Größe des Arbeitsfokus gewährleistet.

Die Ausgestaltung einer Verstelleinrichtung gemäß Anspruch
44 ist dabei eine besonders einfache Variante, die eine
Verdrehung des Arbeitsfokus um den Bearbeitungsbereichs
10 ermöglicht.

In Kombination mit einer Positioniersteuerung gemäß
Anspruch 45 ist mittels der Verstelleinrichtung eine
automatische Prozeßsteuerung einer Materialbearbeitung
15 mit zwei Brennpunkten, z.B. eines Laserschweiß-Vorgangs
möglich. Diese Steuerung kann entweder anhand von gespei-
cherten CAD-Daten oder über eine Nahtverfolgungseinrichtung
erfolgen.

20 Die Überwachungseinrichtung gemäß Anspruch 46 gewähr-
leistet eine Kontrolle des mit zwei Brennpunkten erfol-
genden Materialbearbeitungsvorgangs, z.B. über die Über-
wachung der Positionen und Größen von Arbeitsfokus und
Bearbeitungsbereich sowie ggf. zusätzlich über eine Tempe-
25 raturbestimmung im Arbeitsfokus bzw. im Bearbeitungsbe-
reich oder durch Überwachung weiterer Parameter. Im
Zusammenspiel mit den oben angesprochenen CAD-Daten
bzw. einer zusätzlichen Programmsteuerung ist dann eine
vollautomatische Materialbearbeitung möglich.

30

Für verschiedene Werkstück-Materialien bzw. für Werk-
stücke aus verschiedenen Materialschichten kann im lau-
fenden Bearbeitungsvorgang bei der Verwendung zweier
Brennpunkte eine Änderung der relativen Flächenleistungen
35 im Arbeitsfokus sowie im Arbeitsbereich erforderlich

sein. Dies wird durch die Ausgestaltung gemäß Anspruch 47 gewährleistet.

Die Verwendung eines Festkörperlasers als Zusatz-Laserquelle gemäß Anspruch 48 führt zu einem gut kontrollierbaren Arbeitsfokus.

- Dabei kann bei der Ausgestaltung gemäß Anspruch 49 auch eine voluminöse Einzel-Lichtquelle (z.B. ein CO₂-Laser oder ein optisches System zur Frequenzkonversion) als Zusatz-Lichtquelle dienen, deren Strahlung über das Strahlführungssystem zur Vorrichtung geführt wird, so daß die Strahlungsleistung dort zur Verfügung steht, aber die Kompaktheit der Vorrichtung nicht beeinträchtigt wird.
- Neben einer optischen Faser ist als Strahlführungssystem beispielsweise auch ein Teleskoparm denkbar, längs dem das Emissionsbündel der Zusatz-Lichtquelle der Vorrichtung zugeführt wird.
- Eine Schweißanordnung gemäß Anspruch 50 führt zur Möglichkeit der Kombination zweier Schweißverfahren, z.B. eines Laserschweißverfahrens und eines Lichtbogenschweißverfahrens, zu einem Hybrid-Schweißverfahren. Die Kombination der beiden Schweißverfahren ermöglicht eine große Flexibilität bei der Materialbearbeitung.

Mit einer Fluid-Fördervorrichtung gemäß Anspruch 51 ist das Zuführen eines Schneidgases oder Schutzgases zum Bearbeitungsbereich möglich. Im ersten Fall wird z.B. beim Laserschneiden flüssiges Metall aus dem Schneidbereich zur Erhöhung der Schneideffizienz ausgetrieben. Bei einer alternativen Ausführungsform ist die Fluid-Fördervorrichtung als Saugvorrichtung ausgebildet, mit der z.B. Rauch, der bei der Materialbearbeitung entsteht und zur Verschmutzung der optischen Komponenten oder zu einer

Beeinträchtigung der Bearbeitungseffizienz der Vorrichtung durch Absorption führt, abgesaugt wird.

Die Förderröhre gemäß Anspruch 52 führt das Fluid bis
05 in einen Bereich nahe dem Bearbeitungsbereich. Dies macht bei der ersten Ausführungsform die Zufuhr von Fluid und damit das Austreiben von Material effizienter, bei der zweiten Ausführungsform das Absaugen.

10 Eine Düse gemäß Anspruch 53 führt zu einer gezielten Beaufschlagung des Bearbeitungsbereichs mit Fluid.

Da das Förderende dem Bearbeitungsbereich benachbart ist, ist es in der Regel einer erhöhten Temperatur sowie
15 vom Bearbeitungsbereich hoch geschleudertem Material des Werkstücks ausgesetzt. Die Austauschbarkeit des Förderendes gemäß Anspruch 54 führt zu einer kostengünstigen Wartungsmöglichkeit der Fluid-Fördervorrichtung.

20 Wie oben schon erwähnt, arbeitet die Fluid-Fördereinrichtung um so effizienter, je näher das Förderende dem Werkstück ist. Mittels einer Entfernungsmeßeinrichtung gemäß Anspruch 55 kann die optimale Position des
25 Förderendes überwacht werden.

Die Ausgestaltung der Entfernungsmeßeinrichtung gemäß Anspruch 56 ist dabei besonders einfach.

30 Bei der Verwendung einer Abschirmelektrode gemäß Anspruch 57 kann der Bereich des Werkstücks vorgegeben werden, der als Gegenelektrode bei der kapazitiven Entfernungsmeßung dient. Da sich die Oberfläche des Bearbeitungsbereichs als Folge der Materialbearbeitung ständig ändert, kann
35 es zweckmäßig sein, den Gegenelektroden-Bereich auf

dem Werkstück durch entsprechendes Verringern der Abschirmung der Förderröhre zu vergrößern.

Mittels einer Einrichtung gemäß Anspruch 58 ist eine
05 derartige Größeneinstellung für die Gegenelektrode fernsteuer- bzw. automatisierbar.

Die Ausgestaltung der Abschirmelektrode gemäß Anspruch 59 ist besonders einfach.

10 Mittels einer Positioniereinrichtung gemäß Anspruch 60 ist die Positionierung des Förderendes fernsteuer- bzw. automatisierbar. Wird die Positioniereinrichtung derart ausgestaltet, daß auch eine laterale Einstellung
15 des Förderendes bezüglich des Werkstücks möglich ist, läßt sich das Förderende zentral über dem Bearbeitungsbereich einstellen.

Eine Justiereinrichtung gemäß Anspruch 61 erhöht die
20 Genauigkeit der Positioniereinrichtung.

Eine gemäß Anspruch 62 angeordnete Justier-Lichtquelle ist eine besonders einfache Justiereinrichtung. Der durch das Förderende austretende Lichtfleck, mit dem das Werkstück beaufschlagt ist, dient dabei der Justierung des Förderendes in lateraler Richtung.
25

Eine im sichtbaren Wellenlängenbereich arbeitende Laserdiode ist für diesen Zweck eine besonders kompakte und
30 kostengünstige Lichtquelle (Anspruch 63).

Wird als Fluid gemäß Anspruch 64 ein Gas eingesetzt, führt dies zu einem effizienten Austreiben von überschüssigem Material aus dem Arbeitsbereich der Vorrichtung.

Gemäß Anspruch 65 lassen sich mehrere Einzel-Lichtquellengruppen so kombinieren, daß sich ihre Arbeitsstrahlbündel in einem Bearbeitungsbereich überlappen. Die koaxiale Anordnung kann dabei so geschehen, daß mehrere Einzel-

05 Lichtquellengruppen auf unterschiedlichen Radien zur zentralen optischen Achse der optischen Anordnung angeordnet sind. Alternativ oder zusätzlich können die Einzel-Lichtquellengruppen auch in Richtung der optischen Achse gegeneinander versetzt angeordnet sein. Jeder Einzel-

10 Lichtquellengruppe kann eine optische Anordnung zur Erzeugung des jeweiligen Arbeitsstrahlbündels zugeordnet sein.

Ausführungsbeispiele der Erfindung werden nachfolgend
15 anhand der Zeichnung näher erläutert; es zeigen:

Figur 1: einen Meridionalschnitt durch eine Lasergruppe und die optischen Komponenten einer erfindungsgemäßen Vorrichtung, wobei der Strahlengang der
20 Emissionsbündel von zwei Laserdioden-Arrays einer Lasergruppe schematisch dargestellt ist;

Figur 2: eine Teilansicht eines Schnitts gemäß Linie II-II in Figur 1;

25 Figur 3: eine Teilansicht eines zur Figur 1 ähnlichen Schnitts mit einem astigmatischen optischen Element, das zu demjenigen der Figuren 1 und 2 alternativ ist;

30 Figur 4: einen zu Figur 2 ähnlichen Schnitt mit einem weiteren alternativen astigmatischen optischen Element;

35 Figur 5: schematisch eine Anordnung von drei Laserdioden-

Arrays auf einem einer Lasergruppe zugeordneten
Halterung;

05 Figur 6: eine zur Figur 1 alternative Vorrichtung in einem
Gehäuse mit einem zusätzlichen Reflexionsspiegel;

Figur 7: eine Ausschnittsvergrößerung von Figur 6 im
Bereich eines Laserdioden-Arrays;

10 Figur 8: eine zur Figur 7 ähnliche Darstellung einer
alternativen Ausführungsform der Halterung und
Kühlung eines Laserdioden-Arrays.

15 Figur 9: schematisch die Komponenten einer Hydraulik-
einrichtung in Verbindung mit der Ausführungs-
form nach Figur 8;

Figur 10: eine zu Figur 6 alternative Vorrichtung mit einer
Sensoranordnung;

20 Figur 11: eine weitere alternative Vorrichtung mit Führungs-
komponenten des Emissionsbündels eines nicht
zur Lasergruppe gehörenden Zusatz-Lasers;

25 Figur 12: eine alternative Vorrichtung mit einer Schneidgas-
Zuführvorrichtung;

Figur 13: ein schematisches Blockdiagramm einer Leistungs-
steuerungsschaltung für zwei Laser;

30 Figur 14: ein schematisches Blockdiagramm einer wellen-
längenselektiven Materialbearbeitungs-Steuerungs-
schaltung für die Vorrichtung;

35 Figur 15: ein schematisches Blockdiagramm einer Posi-

tionssteuerungsschaltung für die Relativposition eines Arbeitsbereichs der Vorrichtung zu einem Arbeitsfokus der Vorrichtung; und

- 05 Figur 16: eine Prinzipdarstellung der Abbildungsverhältnisse bei der Abbildung eines Objekts mit einem astigmatischen optischen Element.

Eine Vorrichtung mit dem in Fig. 1 schematisch dargestellten Strahlengang dient der Materialbearbeitung eines in Figur 1 schematisch dargestellten Werkstücks 1 unter Zuhilfenahme von Laserlicht. Beispiele für eine derartige Bearbeitung sind Schweißen, Schneiden, Bohren, Abtragen oder Oberflächenbehandlungen wie Härteln.

15

Als Materialbearbeitungslaser dienen Hochleistungs-Laserquellen, die bei einer typischen Vorrichtung eine mittlere optische Gesamt-Ausgangsleistung von mehreren hundert Watt haben, die in einem kleinflächigen Arbeitsbereich 20 auf dem Werkstück 1 konzentriert werden muß. Zur optischen Strahlführung der Emissionsbündel 2 von Laserdioden-Arrays 3, die, wie nachfolgend noch beschrieben wird, eine Lasergruppe 4 bilden, dient der Überlagerung der Emissionsbündel 2 die in den Figuren 1 und 2 dargestellte optische Anordnung:

Die Laserdioden-Arrays 3 der Lasergruppe 4 sind auf einem ringförmigen Kühlkörper 40 koaxial um eine optische Achse 5 der optischen Anordnung angeordnet. Dieser ist in der 30 Praxis zur leichteren Handhabung und zur einfacheren Befestigung der Laserdioden-Arrays 3 in einzelne Segmente unterteilt, die jeweils eine Mehrzahl von Laserdioden-Arrays 3 tragen und einzeln demontiert werden können. Sein Material stimmt mit demjenigen des Gehäuses des Laser-35 dioden-Arrays 3 in seinem Wärmeausdehnungskoeffizienten

überein.

- In Figur 1 sind die Laserdioden-Arrays 3 schematisch als sich schließender Ring dargestellt; je nach Erfordernissen
05 für Materialbearbeitungsvorrichtung ist die Anzahl der in diesem Ring untergebrachten Laserdioden-Arrays 3 wählbar. Typische Anzahlen, die eingesetzt werden, sind bis zu 30 Laserdioden-Arrays 3.
- 10 Die Emissionsflächen der Laserdioden-Arrays können auf den Seitenflächen eines Vielecks liegen; alternativ ist auch eine Konfiguration möglich, bei der die Emissionsflächen bogenförmig um die optische Achse 5 mit einer Krümmung verlaufen, die dem Abstand der Emissionsflächen
15 zur optischen Achse 5 entsprechen.

Diese Emissionsflächen (vergleiche dazu die Emissionsflächen 306 der Figur 5) der einzelnen Laserdioden-Arrays 3 sind rechteckig mit einem typischen Längenverhältnis
20 der aufeinander senkrecht stehenden Achsen von ca. 10mm zu 0,6mm. Die lange Achse der Emissionsfläche liegt in der zur Meridionalebene der Fig. 1 (vgl. Fig. 2) gehörenden Sagittalebene, die kurze Hauptachse in der durch den Mittelpunkt der Emissionsfläche definierten Meridional-
25 ebene angeordnet (im Schnitt der Fig. 1 schematisch als punktförmiger Emitter dargestellt).

Von der Emissionsfläche eines Laserdioden-Arrays 3 tritt das Emissionsbündel 2 divergent aus und wird von einem
30 reflektierenden astigmatischen optischen Element 7 abgebildet. Die Divergenzen des Emissionsbündels 2 sind bei bekannten Laserdioden-Arrays 3 parallel zu den Achsen der Emissionsfläche verschieden: Die Divergenz parallel zur kurzen Achse der Emissionsfläche ist dabei mehr als
35 dreimal so groß wie diejenige parallel zur langen Achse.

Das optische Element 7 ist ringförmig mit einer zentralen Öffnung 8, die koaxial zur optischen Achse des astigmatischen optischen Elements 7 ist, die ihrerseits mit der 05 optischen Achse 5 der optischen Anordnung zusammenfällt.

Das astigmatische optische Element 7 weist zur Abbildung des Emissionsbündels 2 eines Laserdioden-Arrays 3 eine abbildende Fläche 9 mit zwei unterschiedlichen Krümmungen 10 auf:

In der einem Laserdioden-Array 3 zugeordneten Meridionalebene, d.h. der Ebene, die definiert ist durch die optische Achse 5 und den Mittelpunkt der Emissionsfläche 6, weist 15 die abbildende Fläche 9 eine von außen gesehen konkave Krümmung auf und wirkt vergrößernd. In der entsprechenden Sagittalebene, die der Emissionsfläche zugeordnet ist, d.h. in der Ebene, die den vom Mittelpunkt der Emissionsfläche ausgehenden Mittelstrahl des Emissionsbündels 2 20 enthält und senkrecht zur erwähnten Meridionalebene ist, ist die Abbildungsfläche 9 konvex gekrümmmt und wirkt verkleinernd. Die Schnittgerade einer einem Laserdioden-Array 3 zugeordneten Sagittalebene mit der entsprechenden Meridionalebene (für dieses Laserdioden-Array mit der 25 Zeichenebene zusammenfallend) ist in Figur 1 gestrichelt dargestellt und mit dem Bezugssymbol 10 versehen.

Der Krümmungsradius der konvexen Krümmung der abbildenden Fläche 9 des astigmatischen optischen Elements 7 in den 30 den Laserdioden-Arrays 3 zugeordneten Sagittalebenen wird durch den Radius des astigmatischen optischen Elements 7 vorgegeben. Er wird auf die konkavere Krümmung der abbildenden Fläche so abgestimmt, daß das erzeugte virtuelle Bild der Emissionsfläche in beiden aufeinander senkrecht 35 stehenden Achsrichtungen etwa gleich groß wird.

- Durch die abbildende Fläche 9 wird ein virtuelles Bild der Emissionsfläche des Laserdioden-Arrays 3 erzeugt.
- In Fig. 1 ist der virtuelle Bildpunkt als Schnittpunkt S
- 05 der Strahlen des Emissionsbündels 2, das in der mit der Zeichenebene zusammenfallenden Meridionalebene von der abbildende Fläche 9 reflektiert wird, eingezeichnet.
- Er entsteht, wenn man gedanklich die Strahlen des von der abbildende Fläche 9 reflektierten Emissionsbündels 2
- 10 in der Meridionalebene entgegen der Strahlrichtung durch das astigmatische optische Element 7 verlängert. Die Strahlen schneiden sich dann im virtuellen Bildpunkt S auf der optischen Achse 5.
- 15 Auch in der Sagittalebene wird durch das astigmatische optische Element 7 ein virtuelles Bild der Emissionsfläche erzeugt. Allerdings werden die meridional verlaufenden Ränder der Emissionsfläche aufgrund des astigmatischen Charakters des optischen Elements 7 nicht
- 20 in exakt derselben Fokalebene abgebildet, in welcher die sagittal verlaufenden Ränder abgebildet werden. Eine zwischen diesen beiden Fokalebenen verlaufende Ebene, die hinsichtlich der Abbildung der Ränder einen guten Kompromiß bildet, wird nachfolgend "Ausgleichsebene"
- 25 genannt.
- In Fig. 1 ist dargestellt, wie die vom astigmatischen optischen Element 7 reflektierten Emissionsbündel 2 der Laserdioden-Arrays 3 von einer Kombination eines sphärischen Konkavspiegels 11 und eines sphärischen Konvexspiegels 12 weiter geführt werden. Diese Kombination bildet die Ausgleichsebene in eine Arbeitsebene 13, in der das Werkstück 1 angeordnet ist, ab. Der Konkavspiegel 11 weist eine zentrale Öffnung 14 auf, die koaxial zur optischen
- 30 35 Achse 5 verläuft und mit der Öffnung 8 im astigmatischen

optischen Element 7 fluchtet. Durch die Öffnung 14 verlaufen die Emissionsbündel 2 der Laserdioden-Arrays 3 konvergent zu einem Überlagerungspunkt, auf den nachfolgend noch eingegangen wird.

05

Wie gestrichelt in der Figur 1 angedeutet, kann eine weitere Lasergruppe 4' vorgesehen sein, die koaxial um die oben beschriebene Lasergruppe 4 herum angeordnet ist. Zur Abbildung der Emissionsflächen der Lasergruppe 10 4' sind in diesem Falle ein weiteres astigmatisches optisches Element 7' sowie ggf. weitere optische Komponenten vorgesehen (nicht dargestellt).

Weitere Ausführungsformen von Materialbearbeitungsvorrichtungen werden in den Figuren 3, 4 sowie 6 bis 16 beschrieben. Komponenten, die denjenigen der Figuren 1 und 2 entsprechen, erhalten mit um 100 erhöhte Bezugszeichen und werden nicht nochmals im einzelnen beschrieben.

20

Wie in den Figuren 3 und 4 gezeigt, können die Krümmungen der abbildenden Fläche 109 bzw. 209 des astigmatischen optischen Elements 107 bzw. 207 in den Meridional- und Sagittalebenden, die den einzelnen Laserdioden-Arrays 3 zugeordnet sind, zur Erzeugung einer Ausgleichsebene alternativ auch so ausgeführt sein, daß die Krümmung in der Meridionalebene konvex ist (vgl. Figur 3) und auch so, daß die Krümmung in der Sagittalebene konkav ist (vgl. Figur 4). Im ersten Fall wird die Emissionsfläche des 30 Laserdioden-Arrays 103 in den beiden aufeinander senkrecht stehenden Achsrichtungen unterschiedlich verkleinert, im zweiten Fall unterschiedlich vergrößert. Ergebnis ist in beiden Fällen ein virtuelles Bild der Emissionsfläche bzw. mit etwa gleichen Seitenlängen.

35

Zur Realisierung einer konkaven Krümmung in der Sagittalebene weist das astigmatische optische Element 207 vier als Facetten ausgeführte abbildende Flächen 209 auf, wobei jeweils eine Facette 209 einem Laserdioden-Array 3 zugeordnet ist.

Durch die Wahl der Krümmungsradien der abbildende Fläche 9, 109 bzw. 209 lässt sich die Position der Ausgleichsebene sowie die Größe der Querschnittsfläche der Emissionsbündel 10 2, 102 bzw. 202 in der Ausgleichsebene einstellen.

Die Krümmungen der abbildenden Flächen 9; 109; 209 brauchen nicht konstant zu sein. Alternativ kann die abbildende Fläche 9, 109, 209 z.B. parabolisch oder eine komplexeren 15 Funktion folgend gekrümmmt sein, um bei der Einstellung der Ausgleichsebene z.B. Bildfehler auszugleichen. Auch die dem astigmatischen optischen Element 7, 107, 207 nachfolgenden optischen Komponenten können entsprechend von einer Sphäre abweichende Krümmungen aufweisen.

20 Die beschriebene optische Anordnung arbeitet durchgängig mit reflektierenden optischen Komponenten. In analoger Weise kann die optische Anordnung auch mit transmissiven optischen Komponenten oder auch als katadioptrisches 25 System aufgebaut sein. Auch holographische Komponenten zur Strahlführung sind möglich.

Wie Fig. 5 zeigt, sind die Emissionsflächen 306 der Laserdioden-Arrays 303 aus einer Vielzahl, in der Praxis 30 z.B. 1024, nebeneinander in einer Zeile angeordneten einzelnen Laserdioden aufgebaut. Die Emission jeweils einer Laserdiode der Laserdioden-Arrays 303 ist in Figur 5 schematisch dargestellt.

35 Die Laserdioden-Arrays 303 haben jeweils eine optische

- Leistung von ca. 60 W und produzieren eine thermische Verlustleistung in gleicher Größe. Die Laserdioden sind bei handelsüblichen Laserdioden-Arrays auf einem Diodenchip mit einer Dicke von 0,1 bis 0,2 mm angeordnet. Dieser
- 05 Chip ist wiederum auf dem Kühlkörper zum Abführen der thermischen Energie, die beim Betrieb des Laserdioden-Arrays 303 erzeugt wird, angeordnet. Ein möglicher Aufbau eines solchen Kühlkörpers wird noch beschrieben.
- 10 Der für die Materialbearbeitungsvorrichtung eingesetzte Lasertyp ist nicht auf Laserdioden-Arrays beschränkt. Anstelle von oder gemeinsam mit Laserdioden-Arrays 303 können auch Faser-Arrays eingesetzt werden, wie z.B. das in Figur 5 gezeigte Faser-Array 315. Dieses weist eine
- 15 Vielzahl von Fasern 316 auf, deren Auskoppel-Enden derart in einer wärmeleitenden Fassung 317 montiert sind, daß sie in einer Zeile nebeneinanderliegen und so eine Emissionsfläche 306' bilden. Die Längen der Achsen von letzterer entsprechen denjenigen der Emissionsflächen 306 der
- 20 Laserdioden-Arrays 303.

In Einkoppel-Faserenden, die den gegenüberliegenden Abschluß der Fasern 316 bilden und als im wesentlichen rotationssymmetrisches Bündel vorliegen, wird mit einer

25 Einkoppeloptik 320 ein Emissionsbündel 318 eines Nd:YAG-Lasers 319 eingekoppelt. Aus den Auskoppel-Enden der Fasern 316 tritt jeweils ein individuelles Emissionsbündel aus, dessen Divergenz mit der des Emissionsbündels einer Laserdiode des Laserdioden-Arrays 303 vergleichbar

30 ist.

Die optische Leistung des fasergekoppelten Nd:YAG-Lasers 319, die aus der Emissionsfläche 306' austritt, ist vergleichbar mit derjenigen eines Laserdioden-Arrays 303, also

35 im Bereich von 60 W.

Wie aus den Strahlengängen der Emissionsbündel 2 in Figur 1 ersichtlich, wird der Mittelbereich des Konvexspiegels 12 bei der Abbildung der Emissionsbündel 05 2 nicht genutzt. Bei der in Figur 6 dargestellten Ausführungsform der Materialbearbeitungsvorrichtung ist in diesem nicht genutzten Mittelbereich eines Konvexspiegels 412 eine zentrale Öffnung 421 ausgebildet. In dieser ist ein konkaver Reflexionsspiegel 422 angeordnet, dessen 10 Krümmungsradius seinem Abstand von der Arbeitsebene 413, in der das Werkstück 401 angeordnet ist, entspricht. Licht, das von einem Arbeitsbereich 423, d.h. von dem Bereich in der Arbeitsebene 413, in dem das Werkstück mit den überlagerten Emissionsbündeln 402 der Laserdioden-Arrays 15 403 beaufschlagt wird, in Richtung des Reflexionsspiegels 422 reflektiert wird, wird in sich zurück wieder in den Arbeitsbereich 423 reflektiert, so daß der Wirkungsgrad der Materialbearbeitungsvorrichtung, insbesondere beim Beginn eines Laserschneidvorgangs (Einstechen), erhöht 20 ist.

Figur 6 zeigt die Anordnung der Laserdioden-Arrays 403 und der optischen Anordnung der Materialbearbeitungsvorrichtung in einem Gehäuse 424. Das Gehäuse 424 hat die 25 Form eines Hohlzylinders, wobei in beiden Stirnwänden Öffnungen 425, 426 ausgebildet sind. Die dem Werkstück 401 zugewandte Öffnung 425 ist die Durchlaßöffnung für die Emissionsbündel 402 und fluchtet mit der zentralen Öffnung 414 des Konkavspiegels 411. Letzterer ist innen 30 an der die Öffnung 425 umgebenden unteren Stirnwand 427 des Gehäuses 424 angebracht.

Die in der oberen Stirnwand 428 des Gehäuses 424 ausgebildete Öffnung 426 setzt sich in einer ins Innere des 35 Gehäuse 424 ragenden Hülse 429 fort. Der Innendurchmesser

der Hülse 429 entspricht der Öffnung 426; die Hülse 429 ragt in die Öffnung 421 des ringförmigen Konvexspiegels 412, der in eine Aufnahme eines sich kegelförmig erweiternden gehäuseinneren Endes der Hülse 429 eingesetzt ist. Der
05 Reflexionspiegel 422 bildet die axiale Fortsetzung eines Halteschafts 430 gleichen Durchmessers, mit dem der Reflexionsspiegel 422 verbunden ist. Der Halteschaft 430 liegt satt in der Hülse 429, so daß durch Verschieben des Halteschafts 430 in der Hülse 429 eine axiale Justierung
10 des Reflexionsspiegels 422 zur Einstellung seines Abstands zum Arbeitsbereich 423 möglich ist.

Das astigmatische optische Element 407 ist koaxial zur Hülse 429 angeordnet und mit der oberen Stirnwand 428 des
15 Gehäuses 24 in folgender Weise verbunden.

Ausgehend von der oberen Stirnwand 428 des Gehäuses 424 verläuft die den Zylindermantel bildende Seitenwand 433 des hohlzylinderförmigen Gehäuses 424 zunächst als
20 Wand mit relativ großer Stärke und verjüngt sich dann über eine Stufe 431, nach der sie im wesentlichen die gleiche Stärke hat wie die untere Stirnwand 427. Am radial innenliegenden Ende der Stufe 431 ist ein Halterung 432 über einen ebenfalls ringförmigen Steg 433 angeformt.
25 Dabei erstreckt sich der Steg 433 auf die untere Stirnwand 427 zu, während der daran angeformte Halterung 432 um 90° abgeknickt radial nach außen verläuft, wobei zwischen der Außenseite des Halterings 432 und der Seitenwand 433 des Gehäuses 424 ein Zwischenraum verbleibt. Der Halterung
30 432 begrenzt dadurch mit der Stufe 431 eine horizontal im Gehäuse 424 verlaufende, sich radial nach außen öffnende Ringnut 434. In dieser ist eine Mehrzahl von Piezoaktuatoren 435 so angeordnet, daß sie sich zwischen dem Halterung 432 und dem verstärkten Abschnitt der Seitenwand 433
35 abstützen. Jedem Laserdioden-Array 403 ist ein Piezoaktu-

ator 435 zugeordnet.

An einer der unteren Stirnwand 427 zugewandten Koppelfläche 436 des Halterings 432 ist der ringförmige Kühlkörper 440
05 befestigt, der die Laserdioden-Arrays 403 trägt.

Aus konstruktiven Gründen sind im Regelfall unterschiedliche Teile der Vorrichtung in Funktionseinheiten zusammengefaßt. So bildet z.B. die Hülse 429 eine Einheit mit
10 dem Konvexspiegel 412 oder der Kühlkörper 440 mit dem Haltering 432 eine Einheit mit dem astigmatischen optischen Element 407.

In Figur 7 ist gezeigt, daß durch eine Längenänderung
15 eines Piezoaktuators 435 in der Richtung parallel zur optischen Achse 405 (vgl. Fig. 6) der optischen Anordnung eine Verkippung des Halterings 432 und eine resultierende Verkippung des dem Piezoaktuators 435 zugeordneten Laserdioden-Arrays 403 erfolgt. Diese Verkippung hat eine
20 entsprechende Verkippung des Emissionsbündels 402 in der in Figur 7 gezeigten Meridionalebene zur Folge. Durch diese Verkippung steht ein Freiheitsgrad bei der Einstellung der Überlagerung der Emissionsbündel 402 der Laserdioden-Arrays 403 im Arbeitsbereich 423 zur Verfügung. Zur
25 Einstellung weiterer ggf. erforderlicher Freiheitsgrade können weitere Piezoaktuatoren mit entsprechend angepaßten Wirkungsrichtungen vorgesehen sein.

Eine alternative, hydraulische Anordnung zur Einstellung
30 von Laserdioden-Arrays 503, mit der diese gleichzeitig gekühlt werden können, zeigen die Figuren 8 und 9. Kühlkörper 540 der Laserdioden-Arrays 503 enthalten dabei Kammern 541, die Teil eines jeweils einem Laserdioden-Array 503 zugeordneten Kühlkreislaufs 539 sind. Dieser
35 ist in Fig. 10 für ein Laserdioden-Array 503 vollständig

und für ein weiteres abschnittsweise dargestellt.

Die Kammerwände der im Querschnitt der Figur 9 im wesentlichen dreieckigen Kammer 541 im Kühlkörper 540 haben eine

- 05 derartige Wandstärke, daß eine Änderung des Kühlwasserdrucks in der Kammer 541 zu einer Verkippung der Emissionsfläche des Laserdioden-Arrays 503 führt, die zu derjenigen analog ist, die beim Ausführungsbeispiel der Figur 8 durch die Piezoaktuatoren 435 bewirkt wird:

10

Die ringseitig äußere Mantelwand 542 des Gehäuserings 540 ist im Bereich der Kammern 541 dünn ausgeführt, so daß bei einer Erhöhung des Kühlwasserdrucks in den Kammern 541 eine Dehnung der Mantelwand 542 in einer Richtung

- 15 parallel zur optischen Achse der optischen Anordnung erfolgt, die mit der Mittelachse des Kühlkörpers 540 zusammenfällt. Die der optischen Achse der optischen Anordnung schräg zugewandte, kegelförmig verlaufende Mantelwand 543 ist hingegen so stark ausgeführt, daß eine 20 Erhöhung des Drucks in der Kammer 541 zu keiner nennenswerten Dehnung der Mantelwand 543 führt.

Die Emissionsfläche des Laserdioden-Arrays 503 kann als stirnseitiger Abschluß der Mantelwand 543 angesehen werden.

- 25 Eine definierte Kippbewegung der Emissionsfläche, die sich aus dem unterschiedlichem Dehnungsverhalten der Mantelwände 542, 543 ergibt, wird dadurch gewährleistet, daß die mit der Koppelfläche 536 des Gehäuses 524 verbundene und die dritte Begrenzungsseite der dreieckigen 30 Querschnittsfläche der Kammer 541 der Figur 9 bildende Mantelwand 544 keilförmig ausgebildet ist. Der Bereich geringster Wandstärke der Mantelwand 544 ist dabei der Emissionsfläche direkt benachbart. Dieser Bereich geringster Wandstärke gibt somit ein Scharnier bei der Verkippung 35 der Emissionsfläche als Resultat einer Änderung des

Kühlwasserdrucks in den Kammern 541 vor.

Das Kühlwasser wird den Kammern 541 über jeweils eine Zuflußleitung 545 mittels einer Hydraulikpumpe 546 zuge-

05 führt (vgl. Figur 9). Über eine weitere Leitung 547 steht die Hydraulikpumpe 546 mit einem Kühlwasserreservoir 548 in Verbindung.

Von der Kammer 541 führt eine Abflußleitung 549 über ein

10 Proportionalventil 550 und eine weitere Leitung 551 zurück zum Kühlwasserreservoir 548. Über die Öffnungsweite des Proportionalventil 550 ist eine Einstellung des Kühlwas-
serdrucks in der Kammer 541 möglich. Dazu wird das Proportionalventil 550 von einer Ventilsteuerungsschaltung 552

15 angesteuert. Diese Ansteuerung erfolgt abhängig vom Signal einer Deformationserfassungsschaltung 555, die nachfolgend noch beschrieben wird und mit der Ventilsteuerungsschaltung 552 in Signalverbindung steht.

20 Die Kammern 541 werden bei der Herstellung des Gehäuserings 540 für einen vorgegebenen Nenn-Innendruck so gefertigt, daß die Einstellung der Laserdioden-Arrays 503 über das kammerdruckabhängige Verkippen der Emissionsflächen innerhalb eines weiten Kühlwasser-Druckbereichs möglich

25 ist.

Der Bereich des angesteuerten Innendrucks der Kammern 541 liegt z.B. zwischen 5 und 15 bar.

30 Mit dem Kühlwasserkreislauf 539 steht eine Kühlwasser-Überwachungseinrichtung 554 in Verbindung, die die Kühlwassertemperatur, die Kühlwasserdurchflußrate, den Ioni-sierungsgrad des Kühlwassers sowie über entsprechende Temperatursensoren (nicht dargestellt) die Temperatur-
35 differenz zwischen dem Ein- und dem Auslaß des Kühlmittels

überwacht. Aus diesen Daten können Kühlparameter, z.B die Kühlleistung oder der Verschmutzungsgrad des Kühlwassers, ermittelt werden. Bei Vorliegen kritischer Kühlparameter veranlaßt die Überwachungseinrichtung die Desaktivierung
05 der Laserdioden-Arrays 503 und gibt ein Alarmsignal aus.

Der Kühlwasserkörper 540 ist aus Kupfer gefertigt. Alternativ kann er auch aus einem anderen Material, bei dem ein Wärmeleitfaktor resultiert, der größer ist als 160 W/mK.
10 Beispielsweise ist eine Fertigung des Kühlwasserkörpers 540 aus gut wärmeleitfähiger Keramik mit einem geringen Wärmeausdehnungskoeffizienten möglich. Im Bereich der Koppelfläche 536 ist das Gehäuse 524 der optischen Anordnung aus einem Material gefertigt, das eine hohe Wärme-
15 leitfähigkeit und den gleichen Wärmeausdehnungskoeffizienten aufweist wie das Material des Kühlwasserkörpers 540.

Neben der Einstellung eines Laserdioden-Arrays 503 bei der Justage der optischen Anordnung dient die in den Figuren
20 9 und 10 beschriebene Kammerdruck-Steuerung auch dem Ausgleich mechanischer oder thermischer Deformationen des Kühlwasserkörpers 540 insgesamt.

Mechanische Deformationen des Kühlwasserkörpers 540 können
25 sich aufgrund des Eigengewichts oder durch bei der Montage oder als Folge eines Transports der Materialbearbeitungsvorrichtung auftretende Spannungen ergeben. Thermische Deformationen ergeben sich z.B. durch nicht rotationssymmetrische Wärmeabgabe der Laserdioden-Arrays 503 an den
30 Kühlwasserkörper 540.

Zum Ausgleich derartiger Deformationen verarbeitet ein Rechner in der Deformationserfassungsschaltung 555 die Daten eines positionsempfindlichen Sensors 553, der
35 Sensoren entspricht, die nachfolgend noch beschrieben

werden, und gibt dementsprechend Signale an die individuellen Ventilsteuerungsschaltungen 552 der den Laserdioden-Arrays 503 zugeordneten Kühlwasserkreisläufe 539 weiter. Die durch die Änderung der individuellen Druckbeaufschaltung der Kammern 541 erfolgende Deformation des Kühlwasserkörpers 540 führt zu einer entsprechenden Repositionierung der einzelnen Emissionsflächen der Lasergruppe 504 insgesamt und über die abbildenden Eigenschaften der optischen Anordnung zu einer entsprechenden Formänderung des Bearbeitungsbereichs. Diese Formänderung wird wiederum von der Sensoranordnung 553 überwacht.

Beim beschriebenen Ausführungsbeispiel ist jeweils eine Kammer 541 einem Laserdioden-Array 503 zugeordnet. Die 15 Anzahl der Kammern 541 kann jedoch auch sehr viel größer sein, so daß eine entsprechend höhere Genauigkeit des Deformationsausgleichs möglich ist.

Die Ausführungsform der Figur 10 zeigt ein Beispiel 20 für eine Sensoranordnung 653, die mit der vorstehend beschriebenen Deformationssteuerung zusammenarbeiten kann. Die optische Anordnung der Materialbearbeitungsvorrichtung der Figur 11 ist in einem Gehäuse 624 untergebracht, das dem Gehäuse 424, welches im Zusammenhang mit Figur 6 25 beschrieben wurde, im wesentlichen baugleich ist. Lediglich die Halterung der Laserdioden-Arrays 603 ist hier durch einfaches Verbinden des Kühlkörpers 640 mit einer durch eine Gehäusestufe gebildeten Koppelfläche 636 in analoger Weise ausgeführt, wie dies im Zusammenhang mit der Figur 30 8 beschrieben wurde. Ein Halterung entsprechend dem Halterung 432 sowie Piezoaktuatoren entfallen somit.

In die miteinander fluchtenden zentralen Öffnungen 621, 626 des Konvexspiegels 612 bzw. der Hülse 629 ist ein 35 Gehäuse 657 der Sensoranordnung 653 eingesteckt. Letz-

teres ist zum Bearbeitungsbereich 623 hin offen. Dem Bearbeitungsbereich 623 benachbart, von dem aus Strahlung in Richtung der Sensoranordnung 653 reflektiert bzw. reemittiert wird, ist im Gehäuse 657 zunächst ein wellenlängenselektiver Filter 658 angeordnet. Vom Bearbeitungsbereich 623 ab in Richtung der Sensoranordnung 653 ausgehende Strahlung wird zunächst vom Filter 658 gefiltert und gegebenenfalls von einem zusätzlichen Neutralglasfilter wellenlängenunabhängig geschwächt. Anschließend wird 10 das gefilterte Licht von einer Abbildungsoptik 659 auf ein zweidimensionales CCD-Array 660 abgebildet. Die Abbildungsoptik 659 kann eine einzelne Linse oder auch ein vorzugsweise achromatisches Objektiv sein. Das vom CCD-Array erfaßte Bild des Bearbeitungsbereichs 623 wird 15 in einen Speicher (nicht dargestellt) einer elektronischen Auswerteeinrichtung 661, die mit dem CCD-Array in Verbindung steht, eingelesen.

Mit Hilfe einer derartigen Sensoranordnung 653 ist eine 20 Überwachung von Bearbeitungsparametern bei der Materialbearbeitung möglich. Über die Wellenlänge des vom Bearbeitungsbereich 623 emittierten Lichts ist z.B. eine Temperaturbestimmung des Bearbeitungsbereichs 623 möglich. Zusätzlich gibt die Ausdehnung des von der Sensoranordnung 25 653 überwachten Bearbeitungsbereichs 623 Aufschluß über die Abbildungsqualität der optischen Anordnung mit der Möglichkeit, diese durch eine entsprechende Einrichtung, wie z.B. oben dargestellt, zu korrigieren.

30 Mit dem wellenlängenselektiven Filter 658 lassen sich z.B. bei der Detektion störende Wellenlängen ausfiltern. Alternativ oder zusätzlich ist mit dem Filter 658 auch die Auswahl eines Wellenlängenbandes möglich, das selektiv auf das CCD-Array 660 abgebildet wird. Damit läßt sich 35 die räumliche Temperaturverteilung im Bearbeitungsbereich

623 darstellen.

Beim Einsatz von Kantenfiltern als wellenlängenselektivem Filter 658 sind zusätzliche Anwendungen der Sensoranordnung
05 653 möglich, wie später noch beschrieben wird.

Bei der in Figur 11 dargestellten Ausführungsform der Materialbearbeitungsvorrichtung ist das Gehäuse 724 baugleich zu demjenigen der Fig. 10 ausgeführt. In den
10 Öffnungen 721, 726 ist eine Stelloptik 763 zur Führung eines Emissionsbündels 764 eines Nd:YAG-Zusatzlasers angeordnet, der von der Lasergruppe 704 unabhängig ist. Die von dem nicht dargestellten Zusatzlaser emittierte Strahlung wird in eine optische Faser 765 eingekoppelt
15 Das dem Gehäuse 724 zugewandte Ende der Faser 665 ist an ein Gehäuse 766 der Stelloptik 763 montiert. Das aus dem Faserende in das Gehäuse 766 austretende Emissionsbündel 764 wird von einer ersten Linse 767 kollimiert und mittels einer zweiten Linse 768 in einen Arbeitsfokus 769 des
20 Zusatzlasers fokussiert, der in der Arbeitsebene 713 liegt, jedoch lateral vom Arbeitsbereich 723 beabstandet ist.

Die Längsachse des Gehäuses 766, die mit der optischen Achse 770 der Stelloptik 763 zusammenfällt, ist zur
25 optischen Achse 705 der optischen Anordnung zur Abbildung der Emissionsbündel 702 der Laserdioden-Arrays 703 geneigt. Mit Hilfe eines Drehantriebs (nicht dargestellt), der am Gehäuse 766 angreift, kann die Stelloptik 763 um die optische Achse 705, also um eine Kegelmantelfläche
30 gedreht werden. Eine derartige Drehung führt zu einer entsprechenden Wanderung des auf der optischen Achse 770 der Stelloptik 763 liegenden Arbeitsfokus 769 auf einem Kreisbogen um den auf der optischen Achse 705 der optischen Anordnung zur Abbildung der Emissionsbündel 702 liegenden
35 Bearbeitungsbereich 723.

Mit einer weiteren nicht dargestellten Stellvorrichtung ist zusätzlich der Neigungswinkel der Längsachse des Gehäuses 766 zur optischen Achse der optischen Anordnung 05 zur Abbildung der Emissionsbündel 702 und damit der Abstand des Arbeitsfokus 769 des Zusatzlasers vom Bearbeitungsbereich 723 einstellbar.

Die in Figur 12 dargestellte Ausführungsform einer Materialbearbeitungsvorrichtung zeigt wiederum eine optische Anordnung zur Abbildung der Emissionsflächen von Laserdioden-Arrays 803 auf einen Bearbeitungsbereich 823 in einem Gehäuse, das mit denjenigen der im Zusammenhang mit den Figuren 10 und 11 beschriebenen Ausführungsformen 15 baugleich ist. In den Öffnungen 821, 826 sowie in dem an diese Öffnungen 821, 826 in Richtung des Bearbeitungsbereichs 823 anschließenden von Emissionsbündeln 802 freien Raum ist eine Schneidgas-Zuführvorrichtung 871 angeordnet. Diese weist eine Schneidgas-Zuführleitung 872 auf, in der 20 Schneidgas von einer Schneidgas-Quelle (nicht dargestellt) herangeführt wird. Mit der Schneidgas-Zuführleitung 872 steht ein Metallrohr 873 in Fluidverbindung, das längs der optischen Achse 805 angeordnet ist. Das Metallrohr 873 mündet in eine Gasdüse 874 aus, die dem Bearbeitungsbereich 823 benachbart ist. Mit dem Metallrohr 873 und 25 dem Werkstück 801 ist eine Kapazitäts-Meß/Regeleinrichtung 875 elektrisch verbunden, die wiederum in Signalverbindung mit einer nur schematisch dargestellten Stellvorrichtung 876 steht. Mit dieser ist eine Axialbewegung des Metallrohrs 873 möglich, wodurch der Abstand zwischen der Gasdüse 30 874 und dem Werkstück 801 eingestellt wird.

Bis auf den Bereich in der Nachbarschaft der Gasdüse 874 ist das Metallrohr 873 von einer hülsenförmigen 35 Abschirmelektrode 877, die das Metallrohr 873 koaxial

umgibt, abgedeckt. An der äußereren Mantelfläche der Abschirmelektrode 877 liegen an gegenüberliegenden Seiten zwei miteinander elektrisch verbundene Hochspannungskontakte einer Hochspannungselektrode 899 an.

05

Zur Justierung der Gasdüse 874 derart, daß der zugeführte Schneidgasstrahl möglichst effizient mit dem Arbeitsbereich 823 überlappt, ist eine Laserdiode 896 vorgesehen, deren Strahlung über ein Fenster so in das Metallrohr 873 einge-

10

koppelt wird, daß ihr Emissionsbündel auf der zentralen Achse des Metallrohrs 873 liegt. Das Emissionsbündel tritt durch die Gasdüse 874 in Richtung des Arbeitsbereichs 823 aus und kann daher zur lateralen Justierung des Auf treffpunktes des Schneidgases auf dem Werkstück 801

15

relativ zum Bearbeitungsbereich 823 verwendet werden. Für diese Justage kann auch die Emission eines entsprechenden Justierlasers (nicht dargestellt) in den Strahlen gang der Laserdioden-Arrays 803 eingekoppelt sein, so daß die Strahlung dieses Justierlasers das Arbeits-Laser-

20

strahlenbündel vorgibt und die Strahlung der Laserdiode 896 mit der Strahlung dieses Justierlasers überlagert werden kann.

Die Schneidgas-Zuführvorrichtung 871 funktioniert folge-

25

dermaßen:

Zum Austreiben von geschmolzenem Metall im Zuge eines Schweißvorganges, der von der Materialbearbeitungsvorrichtung durchgeführt wird, wird Schneidgas durch die Zufuhr-

30

leitung 872 und das Metallrohr 873 über die Gasdüse 874 dem Bearbeitungsbereich 823 zugeführt. Die Gaszufuhr erfolgt dabei mit so hohem Druck, daß die flüssigen Metallanteile aus dem Bearbeitungsbereich 823 herausgetrieben werden. Je exakter die Gasdüse 874 über dem Bearbeitungsbereich 823 liegt und je näher die Gasdüse 874 dem

Werkstück 801 ist, ohne dabei in den Strahlengang der Emissionsbündel 802 einzutreten, desto effizienter erfolgt dieses Austreiben flüssigen Metalls.

- 05 Zur Optimierung der Arbeitseffizienz der Schneidgas-Zuführvorrichtung 871 wird einerseits die laterale Position der Gasdüse 874 über dem Bearbeitungsbereich 823 mit der Strahlung der Laserdiode 896 vorjustiert und andererseits der Abstand der Gasdüse 874 vom Werkstück 801 kapazitiv geregelt. Die Kapazitäts-Meß/Regeleinrichtung 875 überwacht dabei die Kapazität, die aus dem Metallrohr 872 und dem Werkstück 801 gebildet wird. Eine bestimmte Kapazität entspricht dabei einem bestimmten Abstand zwischen der Gasdüse 874 und dem Werkstück 801. Eine vorgegebene Soll-Kapazität wird von der Kapazitäts-Meß/Regeleinrichtung 875 durch entsprechendes Ansteuern der Stellvorrichtung 876, die den Abstand zwischen Gasdüse 874 und Werkstück 801 ändert, nachgeregelt.
- 10
- 15
- 20 Bei einer weiteren, nicht dargestellten Ausführungsform der Materialbearbeitungsvorrichtung ist eine Schutzgas-Zuführvorrichtung (vgl Zuführvorrichtung 871 in. Figur 12) in Form eines Rohres durch die Öffnungen 821, 826 der optischen Anordnung hindurchgeführt, welches eine
- 25 Lichtbogen-Metallelektrode umgibt. Mit Hilfe einer derartigen Metallelektrode ist die Kombination eines Laserschweiß-Vorgangs durch die Laserdioden-Arrays 803 mit einem Lichtbogenschweiß-Vorgang zu einem Hybridschweißverfahren möglich. Die Metallelektrode wird dabei zum Lichtbogenschweißen in Richtung des Arbeitsbereichs 823 geführt.
- 30 Sie liegt gegenüber dem Werkstück 801 auf Hochspannungspotential und schmilzt während des Schweißvorgangs an dem dem Werkstück 801 zugewandten Ende ab.
- 35 Das schematische Blockdiagramm der Figur 13 zeigt eine

- Laser-Leistungssteuerung 979, die zur Leistungssteuerung der Strahlungsleistungen der Laser 903 innerhalb einer Lasergruppe oder zur Leistungssteuerung der Strahlungsleistungen von zu verschiedenen Lasergruppen gehörenden Lasern jeweils gemeinsam oder zur Leistungssteuerung der Strahlungsleistung verschiedener Laserquellen, z.B. einer Lasergruppe und einem Zusatzlaser, einer Materialbearbeitungsvorrichtung eingesetzt werden kann. Exemplarisch ist die Funktion für zwei Laser 903, 903' dargestellt, die jeweils von zugeordneten Treibern 980, 980' mit elektrischer Energie versorgt werden. Beide Treiber 980, 980' stehen in Signalverbindung mit einer Leistungssteuerungseinheit 981. Letztere steuert die Treiber 980, 980' an.
- Die Leistungsbeeinflussung durch die Leistungssteuerungseinheit 981 kann als Reaktion auf die Übermittlung von Signalen einer den Bearbeitungsbereich überwachenden Sensoranordnung 953 oder infolge einer direkten Benutzereingabe oder im Rahmen eines vorprogrammierten Ablaufs erfolgen.
- Das schematische Blockdiagramm der Figur 14 zeigt eine wellenlängenselektive Materialbearbeitungs-Steuerungsschaltung bei Verwendung einer Lasergruppe 1004 und eines Zusatzlasers 1082. Licht der beiden entsprechenden Wellenlängen, das von einem Bearbeitungsbereich 1023 reflektiert wird, wird von einer optischen Einrichtung 1083, z.B. einer Linse oder einem Objektiv, kollimiert. Anschließend trifft es auf einen dichroitischen Strahlteiler 1084, der die verschiedenen Wellenlängen des vom Bearbeitungsbereich 1023 ausgehenden Lichts transmittiert bzw. reflektiert. Der vom dichroitischen Strahlteiler 1084 transmittierte Anteil wird von einem Detektor 1085 erfaßt, während der reflektierte Anteil von einem Detektor 1086 erfaßt wird.
- Eine Signalverarbeitungseinrichtung 1087 bildet das

- Verhältnis der beiden Ausgangssignale der Detektoren 1085, 1086. Abhängig vom Ergebnis dieser Verhältnisbildung gibt die Signalverarbeitungseinrichtung 1087 ein Signal an eine Leistungssteuereinheit 1081 weiter. Letztere steuert
- 05 die Treiber der Lasergruppe 1004 bzw. des Zusatzlasers 1082, die in Figur 15 nicht gezeigt sind, in Abhängigkeit von dem von der Signalverarbeitungseinrichtung 1087 übermittelten Signal an.
- 10 Im Rahmen einer Materialbearbeitung, bei der ein selektiver Abtrag einer Materialschicht eines Werkstücks erwünscht ist, arbeitet die Materialbearbeitungs-Steuerung von Fig. 14 wie folgt:
- 15 Solange der Bearbeitungsbereich 1023 der Materialbearbeitungsvorrichtung noch vollständig in der oberen, abzutragenden Materialschicht liegt, geht von diesem Strahlung derjenigen Wellenlänge aus, die charakteristischerweise von der oberen Materialschicht reflektiert wird. Beginnt
- 20 beim Materialabtrag im Zuge der Materialbearbeitung der Bearbeitungsbereich 1023 in eine untere, nicht abzutragende Materialschicht, die sich in ihren Eigenschaften von der oberen Materialschicht unterscheidet, einzudringen, werden der vom Bearbeitungsbereich 1023 ausgehenden Strahlung
- 25 Anteile mit solcher Wellenlänge beigemischt, die charakteristischerweise von der unteren Materialschicht reflektiert wird. Insbesondere das abgestrahlte Strahlungsspektrum beginnt nun, für die zweite Materialschicht charakteristische Wellenlängenanteile aufzuweisen.
- 30 Mit dem dichroitischen Strahlteiler 1084 wird Strahlung mit Wellenlängenanteilen, die für die untere Materialschicht charakteristisch sind, auf den Detektor 1086 reflektiert. Vom dichroitischen Strahlteiler 1084 auf den
- 35 Detektor 1085 durchgelassen wird hingegen nur Strahlung

mit Wellenlängenanteilen, die nicht von der unteren Materialschicht ausgehen. Mit zunehmendem Anteil der Strahlung der unteren Materialschicht nimmt das Signal des Detektors 1086 zu und das Signal des Detektors 1085

05 ab.

Das Verhältnis der Signale der Detektoren 1085 und 1086, das von der Signalverarbeitungseinrichtung 1087 gebildet wird, nimmt daher mit zunehmender Eindringtiefe des Bearbeitungsbereichs in die untere Materialschicht ab. Durch eine geeignete Schwellwertvorgabe, mit der das gebildete Signalverhältnis in der Signalverarbeitungseinrichtung 1087 verglichen wird, kann somit diese Eindringtiefe zur Realisierung eines kontrollierten Materialschichtabtrags 15 vorgegeben werden. Dazu werden in Abhängigkeit von der Erreichung des Schwellwerts die Treiber der Lasergruppe 1004 bzw. des Zusatzlasers 1082 heruntergefahren oder das Werkstück mit einer Fördereinrichtung lateral zur optischen Achse in der Arbeitsebene 1013 weiterbewegt.

20

Alternativ zur Verwendung eines dichroitischen Strahlteilers mit zwei Detektoren kann auch wie folgt vorgegangen werden:

25 Detektiert wird dabei mit einem einzigen Detektor, der Pulse der Laser empfängt. Ein Laser kann z.B. kontinuierlich (cw-Modus) betrieben werden, der andere gepulst (Puls-Modus). Alternativ können beide Laser im Puls-Modus arbeiten, wobei die Pulse zu unterschiedlichen Zeitpunkten 30 ausgestrahlt werden. Die Erfassung des Detektors wird auf die zeitliche Abgabecharakteristik der Laser synchronisiert. Nach der sequentiellen Erfassung der Refleximpulse werden die erfaßten Signale abgespeichert und der Signalverarbeitungseinrichtung zugeführt.

In Fällen, in denen die unterschiedlichen Materialschichten mit Reemissionen charakteristischer Wellenlänge reagieren, kann auch mit einem einzigen Laser gearbeitet werden.

- 05 Die schematische Blockdarstellung der Figur 15 zeigt eine Positionssteuerung 1189, die Teil einer Bearbeitungssteuerung ist, die z.B. in Zusammenhang mit der Materialbearbeitungsvorrichtung der Figur 11 eingesetzt werden kann. Eine Abbildungsoptik 1190 bildet vom Werkstück
- 10 1101 ausgehende Strahlung auf einen positionsempfindlichen Detektor 1191, z.B. ein zweidimensionales CCD-Array, ab. In Figur 16 ist Strahlung eingezeichnet, die von einem Arbeitsbereich 1123, d.h. dem Bereich, in dem das Werkstück 1101 von der Strahlung einer Lasergruppe
- 15 beaufschlagt ist, und einem Arbeitsfokus 1169, d.h. dem Bereich des Werkstücks, der von einem Zusatzlaser beaufschlagt wird, ausgeht.

- Die Meßwerte des positionsempfindlichen Detektors 1191
- 20 werden an eine Überwachungseinrichtung 1192 weitergeleitet, die aus diesen Signaldaten die Koordinaten des Arbeitsbereichs 1123 und des Arbeitsfokus 1169 bestimmt und diese mit Soll-Koordinaten vergleicht. Die Soll-Koordinaten liegen entweder als vorgegebene Koordinaten
- 25 einer Programmsteuerung 1193 vor, die mit der Überwachungseinrichtung 1192 in Signalverbindung steht, oder ergeben sich während der Materialbearbeitung aus Koordinaten des Werkstücks, die von einem zusätzlichen Sensor 1194, der mit der Überwachungseinrichtung 1192 ebenfalls in
- 30 Signalverbindung steht, übermittelt werden. Der Sensor 1194 kann z.B. eine Kamera sein, die den momentanen Materialbearbeitungsbereich des Werkstücks und dessen Umgebung erfaßt.
- 35 Aus den vom positionsempfindlichen Detektor 1191 gemesse-

- nen Koordinaten und den Soll-Koordinaten berechnet die Überwachungseinrichtung 1192 Steuersignale für eine Leistungssteuerungsvorrichtung 1179 (vgl. Leistungssteuerung 979 der Figur 13) sowie eine Verstelleinrichtung 1195 05 zur Einstellung der Relativposition zwischen dem Arbeitsbereich 1123 und dem Arbeitsfokus 1169, z.B. durch Verstellen einer Stelloptik (vgl. Stelloptik 763 der Figur 11).
- 10 Eine derartige Positionssteuerung 1189 ermöglicht es z.B., daß bei einem Laserschweißvorgang mit zwei Brennpunkten zum Schweißen von zweidimensionalen Konturen die Lage des dem Arbeitsbereich 1122 nach- oder vor-eilenden Arbeitsfokus 1169 um die optische Achse der 15 optischen Anordnung beliebig orientiert werden kann. Zusätzlich kann die Positionssteuerung 1189 eine bekannte Nahtverfolgungseinrichtung beinhalten.

Bei der oben in Zusammenhang mit den Figuren 1 bis 4 20 erfolgten Beschreibung der Abbildungseigenschaften des astigmatischen optischen Elements 7; 107; 207 wurde davon ausgegangen, daß die Bildgrößen der Achsen der Emissionsflächen gleich groß sind. Dies ist jedoch keine notwendige Voraussetzung, um in einer Ausgleichsebene ein Arbeits- 25 Laserstrahlbündel mit einer Querschnittsfläche mit im wesentlichen gleich langen Achsen zu erzielen, wie nach-folgend gezeigt wird:

Wie in der Prinzipdarstellung der Figur 5 gezeigt, fallen 30 die Bildebenen in den Hauptebenen eines astigmatisch abbildenden optischen Elements (bei einem von der optischen Achse entfernten abzubildenden Objekt sind die Hauptebenen identisch mit der Meridional- und der Sagittalebene) bei der Abbildung eines in Figur 5 schematisch als Punkt darge- 35 stellten Objekts in der Regel auseinander, so daß die

beiden Achsen eines Objektes in unterschiedlichen Bildebenen scharf abgebildet werden.

Zwischen diesen beiden Bildebenen, d.h. in dem Bereich,
05 in dem die Bündel des hinter dem astigmatischen Elements
zunächst abgebildeten Bildes in der ersten Hauptebene
wieder auseinanderlaufen, während das Bündel in der dazu
senkrechten zweiten Hauptebene noch konvergent verläuft,
nähern sich die Querausdehnungen der den Hauptebenen
10 zugeordneten Bündel in den beiden zueinander senkrechten
Richtungen einander an. Insbesondere lässt sich auch hier
eine Ausgleichsebene zwischen den beiden Bildebenen angeben,
bei der unabhängig von der Größe der abgebildeten Bilder
in den beiden Hauptebenen die Querausdehnungen der Bündel
15 im wesentlichen gleich sind.

Patentansprüche

=====

05

1. Vorrichtung mit mindestens einer mehrere Einzel-Lichtquellen umfassenden Lichtquelle und einer optischen Anordnung, welche aus den Emissionsbündeln der
- 10 Einzel-Lichtquellen durch Überlagerung ein Arbeitsstrahlbündel hoher Flächenleistung erzeugt, wobei mindestens zwei Einzel-Lichtquellen eine Emissionsfläche mit unterschiedlich langen, senkrecht aufeinander stehenden Achsen aufweisen,

15

dadurch gekennzeichnet, daß

- a) mindestens zwei Einzel-Lichtquellen (3, 3'; 103; 203; 303, 319; 403; 503; 603; 703; 803; 903, 903') mindestens eine koaxial zur optischen Achse (5; 205; 405; 505; 605; 705; 805) eines astigmatischen optischen Elements (7, 7'; 107; 207; 407; 607; 707; 807), das von den Emissionsbündeln der Einzel-Lichtquellen (3, 3'; 103; 203; 403; 603; 703; 803; 903, 903') beaufschlagt ist,
- 20 b) angeordnete Einzel-Lichtquellengruppe (4, 4'; 204; 304; 404; 604; 704; 804) bilden, wobei
- b) jeweils eine Achse der Emissionsfläche (306, 306') einer Einzel-Lichtquelle (3, 3'; 103; 203; 403; 603; 703; 803; 903, 903') in einer durch den Mittelpunkt der Emissionsfläche (306, 306') definierten Meridional-ebene des astigmatischen optischen Elements (7, 7'; 107; 207; 407; 607; 707; 807) und die andere Achse der Emissionsfläche (306, 306') in der entsprechenden
- 25 c) Sagittalebene des astigmatischen optischen Elements
- 30 d) Sagittalebene des astigmatischen optischen Elements
- 35 e) Sagittalebene des astigmatischen optischen Elements

(7, 7'; 107; 207; 407; 607; 707; 807) liegt,

- c) und daß das astigmatische optische Element (7, 7'; 107; 207; 407; 607; 707; 807) in den den Emissionsflächen
05 (306, 306') der jeweiligen Einzel-Lichtquellen (3, 3'; 103; 203; 403; 603; 703; 803; 903, 903') zugeordneten Meridional- und Sagittalebenen unterschiedliche Abbildungseigenschaften derart hat, daß jedes Emissionsbündel
10 (2; 102; 202; 402; 502; 602; 702; 802) der Einzel-Lichtquellen (3, 3'; 103; 203; 403; 603; 703; 803; 903,
15 903') im Strahlengang nach dem astigmatischen optischen Element (7, 7'; 107; 207; 407; 607; 707; 807) in mindestens einer Ausgleichsebene (13; 413; 613; 713; 813; 1013; 1113), die senkrecht zur optischen Achse
20 (5; 205; 405; 505; 605; 705; 805) des astigmatischen optischen Elements (7, 7'; 107; 207; 407; 607; 707;
25 807) steht, eine Querschnittsfläche mit im wesentlichen gleich langen Achsen aufweist; und
- 20 d) alle Emissionsbündel (2; 102; 202; 402; 502; 602; 702; 802) von bündelführenden Komponenten (7, 11, 12, 7';
107; 207, 211; 407, 411, 412; 607, 611, 612; 707, 711,
712; 807, 811, 812) in eine Arbeitsebene (13; 314; 613;
713; 813; 1013; 1113) geführt werden, die entweder von
25 der Ausgleichsebene oder einer allen Strahlenbündeln gemeinsamen Bildebene gebildet wird.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,
daß die Einzel-Lichtquellengruppe (4, 4'; 204; 304;
30 404; 604; 704; 804) Einzel-Lichtquellen (3, 3'; 103; 203;
303, 319; 403; 603; 703; 803; 903, 903') umfaßt, die eine Mehrzahl von insbesondere in einer Reihe nebeneinander angeordneter Einzel-Emitter aufweisen, die individuelle Emissionsbündel emittieren.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens eine Einzel-Lichtquelle (3, 3'; 103; 203; 303, 319; 403; 503; 603; 703; 803; 903, 903') ein Laser ist.

05

4. Vorrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens ein Teil der Einzel-Emitter Laserdioden sind.

10 5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 2 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens ein Einzel-Emitter durch die Auskoppel-Faserenden eines Faserbündels (315) mit rechteckiger Emissionsfläche (306') gebildet ist, das optisch an ein Emissionsbündel (318) einer Lichtquelle
15 (319) angekoppelt ist.

6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 2 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens ein Laser ein Festkörperlaser (319; 1082) ist.

20

7. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Emissionsflächen (306, 306') der Einzel-Lichtquellen (3, 3'; 103; 203; 303, 319; 403; 603; 703; 803; 903, 903') ein Vieleck bilden,
25 deren Mittelachse mit der optischen Achse (5; 205; 405; 505; 605; 705; 805) des astigmatischen optischen Elements (7, 7'; 107; 207; 407; 607; 707; 807) zusammenfällt.

8. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
30 dadurch gekennzeichnet, daß die abgegebene Strahlungsleistungen der Einzel-Lichtquellen (3, 3'; 103; 203; 303, 319; 403; 603; 703; 803; 903, 903') innerhalb einer Einzel-Lichtquellengruppe (4, 4'; 204; 304; 404; 604; 704; 804) und/oder die zu verschiedenen Einzel-Lichtquellengruppen
35 (4, 4') gehörenden Einzel-Lichtquellen (3, 3'; 903, 903')

jeweils gemeinsam und/oder verschiedene Lichtquellen (1004, 1082) von einer Leistungsregelungseinrichtung (979) individuell steuerbar sind.

05 9. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens zwei Einzel-Lichtquellen (3, 3'; 303, 319; 903, 903'; 1004, 1082) unterschiedliche Emissionswellenlängen haben.

10 10. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß eine abbildende Oberfläche (9; 9'; 109; 209; 409; 609; 709; 809) des astigmatischen optischen Elements (7, 7'; 107; 207; 407; 607; 707; 807) eine von außen gesehen konkave Ringfläche ist.

15 11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die abbildende Oberfläche (209) des astigmatischen optischen Elements (207) durch Facetten gebildet ist, die in einer mehrzähligen Symmetrie koaxial 20 zur optischen Achse (205) an diesem angebracht sind.

12. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß durch die zu überlagerten Emissionsbündel (402) der Einzel-Lichtquellen (403) 25 der Einzel-Lichtquellengruppe (404) ein mittlerer, von Emissionsbündeln freier Raum begrenzt wird, in dem ein Reflektor (422) angeordnet ist, der Strahlung in sich zurückreflektiert, die von einem in der Arbeitsebene (413) liegenden Bearbeitungsbereich (423) eines Werkstücks (401) 30 reflektiert oder reemittiert wird.

13. Vorrichtung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens eine der bündelführenden optischen Komponenten (407, 411, 412) (7, 7', 11; 107; 207, 211; 35 407, 411, 412; 607, 611, 612; 707, 711, 712; 807, 811, 812)

eine zentrale Öffnung (408, 414, 421) aufweist.

14. Vorrichtung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet,
daß der Reflektor (422) in der Öffnung (421) ange-
ordnet ist.
05
15. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, daß die bündelführenden
optischen Komponenten (7, 11, 12, 7'; 107; 207, 211,
10 407, 411, 412; 607, 611, 612; 707, 711, 712; 807, 811,
812) derart angeordnet sind, daß die optische Anordnung
im Bereich um ihre optische Achse (5; 205; 405; 505; 605;
705; 805) einen durchgängigen freien Raum aufweist, in
dem keine Strahlung der Einzel-Lichtquellengruppe (4, 4';
15 204; 304; 404; 604; 704; 804) geführt ist.
16. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
gekennzeichnet durch eine Sensoranordnung (553; 653;
953; 1053; 1153) zur Erfassung des Bearbeitungsbereichs
20 (623; 1023; 1123).
25
17. Vorrichtung nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet,
daß die Sensoranordnung (653) im freien Raum angeordnet
ist.
25
18. Vorrichtung nach Anspruch 16 oder 17, dadurch gekenn-
zeichnet, daß die Sensoranordnung (953) Teil der
Leistungsregelungseinrichtung (979) ist.
30
19. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 16 bis 18, dadurch
gekennzeichnet, daß die Sensoranordnung (553; 653; 953;
1053; 1153) einen optischen Sensor (660; 1085, 1086; 1191)
umfaßt.
35
20. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 16 bis 19,

dadurch gekennzeichnet, daß die Sensoranordnung (653; 1053) einen wellenlängenselektiven Filter (658; 1084) umfaßt.

05 21. Vorrichtung nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet,
daß mindestens zwei Einzel-Lichtquellen (603) unter-
schiedliche Emissionswellenlängen aufweisen und das
wellenlängenselektive Filter (658; 1084) diese unterschied-
lichen Emissionswellenlängen trennt.

10 22. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 21, dadurch
gekennzeichnet, daß der Sensor (660; 1191) ein posi-
tionsempfindlicher optischer Sensor ist und die Sensoran-
ordnung (653; 1153) zusätzlich eine Abbildungsoptik (659;
15 1190) zur Abbildung des Bearbeitungsbereichs (623; 1123)
auf den Sensor (660; 1191) umfaßt.

20 23. Vorrichtung nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet,
daß der positionsempfindliche optische Sensor (660;
1191) ein Mehrdetektorensensor ist.

25 24. Vorrichtung nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet,
daß der positionsempfindliche Sensor (660; 1191) ein
Quadrantendetektor ist.

25 25. Vorrichtung nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet,
daß der positionsempfindliche Sensor (660; 1191) ein
CCD-Detektor ist.

30 26. Vorrichtung nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet,
daß der positionsempfindliche Sensor (660; 1191) eine
CMOS-Kamera ist.

35 27. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 16 bis 26,
dadurch gekennzeichnet, daß ein Schallwellensensor

Teil der Sensoranordnung (1053) ist.

28. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 16 bis 27, dadurch gekennzeichnet, daß die Sensoranordnung (1191) in
- 05 Signalverbindung steht mit einer elektronischen Auswerte-einrichtung (1192) zur Bestimmung der Relativposition zwischen Arbeitsebene (1113) und Werkstück.
29. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch eine Ausgleichseinrichtung zur Kompensation mechanisch oder thermisch induzierter Deformationen von Einzel-Lichtquellen (403; 503) der Einzel-Lichtquellengruppe (404; 504) oder von bündelführenden Komponenten oder von Halte- bzw. Kühlkörpern (440; 540) von diesen mit Aktuatoren (435; 541, 550) zur ge-steuerten Deformation oder zur Positionierung von Bereichen der Einzel-Lichtquellen (403; 503) der Einzel-Lichtquellen-gruppe (404; 504) oder von bündelführenden Komponenten oder von Halte- bzw. Kühlkörpern (440; 540) von diesen.
- 20 30. Vorrichtung nach Anspruch 29, dadurch gekennzeichnet, daß die Aktuatoren (541, 550) über eine Steuereinrich-tung (552, 555) mit einer Detektionseinrichtung (553) in Signalverbindung stehen, die einen Sensor zur Erfassung
- 25 der Deformationen aufweist.
31. Vorrichtung nach Anspruch 30 bei Rückbeziehung auf die Ansprüche 16 bis 29, dadurch gekennzeichnet, daß der Sensor der Sensoranordnung (653) als Sensor der
- 30 Detektionseinrichtung (553) dient.
32. Vorrichtung nach Anspruch 31, dadurch gekennzeichnet, daß der Sensor der Detektionseinrichtung (553) ein Wegaufnehmer zur direkten Bestimmung der Deformationen
- 35 ist.

33. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 29 bis 32,
dadurch gekennzeichnet, daß die Aktuatoren eine
Mehrzahl von mit einem Fluidreservoir (548) über Fluidka-
05 näle (545, 549, 551) verbundenen Druckkammern (541)
aufweisen, wobei die Steuereinrichtung (552, 555) zur
individuellen Steuerung des jeweiligen Fluiddrucks in der
Druckkammer (541) dient.
- 10 34. Vorrichtung nach Anspruch 33, dadurch gekennzeichnet,
daß jeder Druckkammer (541) ein geschlossener Fluid-
kreislauf (539) zugeordnet ist, der eine Zuflußleitung
(545) von und eine Abflußleitung (549, 551) hin zu einem
Fluidreservoir (548) umfaßt und in dem ein Steuerventil
15 (550) angeordnet ist, das mit der Steuereinrichtung
(552, 555) zusammenarbeitet.
35. Vorrichtung nach Anspruch 34, dadurch gekennzeichnet,
daß der Fluidkreislauf (539) Teil einer Kühleinrich-
20 tung der optischen Anordnung ist.
36. Vorrichtung nach Anspruch 35, dadurch gekennzeichnet,
daß die Kühleinrichtung Kühlkörper (540) aus gut
wärmeleitendem Material aufweist, in denen das Kühlfluid
25 zirkuliert und die an die Einzel-Lichtquelle (503) oder
die bündelführenden Komponenten thermisch angekoppelt
sind.
37. Vorrichtung nach Anspruch 36, dadurch gekennzeichnet,
30 daß die Einzel-Lichtquellen (503) der Einzel-Licht-
quellengruppe (504) oder die bündelführenden Komponenten
über die Kühlkörper (540) an Halteeinrichtungen (524) aus
einem Material mit geringem Wärmeausdehnungskoeffizienten
angekoppelt sind.

38. Vorrichtung nach Anspruch 36 oder 37, dadurch gekennzeichnet, daß die Kühlkörper (540) und/oder die Halteeinrichtung (524) aus Keramik bestehen.
- 05 39. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 33 bis 36, gekennzeichnet durch eine Überwachungseinrichtung (554) für Zustandsparameter des Druck- und/oder Kühlfluids.
- 10 40. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 29 bis 32, dadurch gekennzeichnet, daß die Aktuatoren durch Piezoelemente (435) gebildet sind.
- 15 41. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 17 bis 40, bei Rückbeziehung auf Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß in dem durchgängigen freien Raum eine optische Zusatz-Anordnung (763) zur Fokussierung eines Emissionsbündels (764) einer Zusatz-Lichtquelle, die nicht Teil einer Einzel-Lichtquellengruppe ist, angeordnet ist, wobei der 20 Arbeitsfokus (769) der Zusatz-Lichtquelle in der Arbeitsebene (713) der Einzel-Lichtquellengruppe (704) liegt.
- 25 42. Vorrichtung nach Anspruch 41, dadurch gekennzeichnet, daß eine Stelloptik (763) zur Einstellung der Position und/oder der Größe des Arbeitsfokus (769) der Zusatz-Lichtquelle Teil der optischen Zusatz-Anordnung ist.
- 30 43. Vorrichtung nach Anspruch 42, dadurch gekennzeichnet, daß die Stelloptik (763) durch mindestens eine Linse (767, 768) oder ein Objektiv gebildet und in einem Gehäuse (766) angeordnet ist, das über eine Verstelleinrichtung relativ zur optischen Achse (705) und zum Bearbeitungsbereich (723) verstellt werden kann.
- 35 44. Vorrichtung nach Anspruch 43, dadurch gekennzeichnet,

- daß die mit der optischen Achse (770) der Stelloptik (763) zusammenfallende Längsachse des Gehäuses (766) zur optischen Achse (705) der Komponenten (707, 711, 712) der optischen Anordnung, die die Emissionsbündel 05 (702) der Einzel-Lichtquellen (703) der Einzel-Lichtquel-lengruppe (704) führen, geneigt ist, wobei die Verstell-einrichtung einen Drehantrieb zum Verdrehen der Stelloptik (763) um die optische Achse (705) der Komponenten (707, 711, 712) der optischen Anordnung aufweist.
- 10 45. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 43 oder 44, dadurch gekennzeichnet, daß die Verstelleinrich-tung (1195) mit einer Positioniersteuerung (1192, 1193) zur Positionierung des Arbeitsfokus (1169) gegenüber 15 dem Bearbeitungsbereich (1123) in Signalverbindung steht.
46. Vorrichtung nach Anspruch 45, dadurch gekennzeichnet, daß die Positioniersteuerung (1192, 1193) mit einer Überwachungseinrichtung (1191, 1194) zur Bestimmung 20 von Lage- und/oder Bearbeitungsparametern des Werkstücks in Signalverbindung steht.
47. Vorrichtung nach Anspruch 45 oder 46 bei Rückbeziehung auf Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die 25 Bearbeitungssteuerung (1192, 1193) mit der Leistungsrege-lungseinrichtung (1179) in Signalverbindung steht.
48. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 41 bis 47, dadurch gekennzeichnet, daß die Zusatz-Lichtquelle 30 ein Festkörperlaser ist.
49. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 41 bis 48, dadurch gekennzeichnet, daß die Zusatz-Lichtquelle zur Stelloptik (763) über ein Strahlführungssystem, 35 vorzugsweise eine optische Faser (765), geführt ist, dessen

Auskoppelende fest mit dem Gehäuse (766) der Stelloptik (763) verbunden ist.

50. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche
05 bei Rückbeziehung auf Anspruch 15, dadurch gekenn-
zeichnet, daß in dem durchgängigen freien Raum zumindest
teilweise eine Schweißanordnung zum Lichtbogenschweißen
angeordnet ist, wobei ein Schweiß-Arbeitsbereich der
Schweißanordnung in der Arbeitsebene der Einzel-Lichtquel-
10 lengruppe liegt.

51. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche
bei Rückbeziehung auf Anspruch 15, gekennzeichnet
durch eine Fluid-Fördervorrichtung (871), die mit einem
15 Fluidreservoir verbunden ist und eine zumindest teil-
weise im durchgängigen Raum freier Apertur angeordnete
Fördereinrichtung (872, 873) mit einem Förderende (874)
für Fluid aufweist, mittels derer der Bearbeitungsbereich
(823) mit Fluid beaufschlagbar ist und/oder Fluid aus
20 dem Bearbeitungsbereich (823) absaugbar ist.

52. Vorrichtung nach Anspruch 51, dadurch gekennzeichnet,
daß die Fördereinrichtung eine Förderröhre (873)
umfaßt, in der das Fluid zumindest abschnittsweise inner-
25 halb des durchgängigen freien Aperturbereichs geführt
ist und deren Förderende (874) dem Bearbeitungsbereich
(823) benachbart ist.

53. Vorrichtung nach Anspruch 51 oder 52, dadurch gekenn-
30 zeichnet, daß das Förderende als Düse (874) ausge-
führt ist.

54. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 51 bis 53,
dadurch gekennzeichnet, daß das Förderende (874)
35 austauschbar ist.

55. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 51 bis 54,
gekennzeichnet durch eine Entfernungsmeßeinrich-
tung (875) zur Bestimmung der Entfernung des Förderendes

05 (874) vom Werkstück (801).

56. Vorrichtung nach Anspruch 55, dadurch gekennzeichnet,
daß zumindest das Förderende (874) aus elektrisch
leitendem Material ist und eine Halterung aufweist,

10 die das Förderende (874) elektrisch gegenüber dem Werk-
stück (801) isoliert, wobei die Entfernungsmeßeinrichtung
(875) eine Kapazitätsmeßanordnung zur Bestimmung der
Kapazität zwischen Förderende (874) und Werkstück (801)
ist.

15

57. Vorrichtung nach Anspruch 56, dadurch gekennzeichnet,
daß die Förderröhre (873) aus elektrisch leitfähigem
Material ist und zumindest abschnittsweise von einer Ab-
schirmelektrode (877) umgeben ist.

20

58. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 51 bis 57,
gekennzeichnet durch eine Einrichtung (876) zur
Erzeugung einer axialen Relativbewegung zwischen Förder-
röhre (873) und Abschirmelektrode (877).

25

59. Vorrichtung nach Anspruch 57 oder 58, dadurch gekenn-
zeichnet, daß die Abschirmelektrode (877) als zur
Förderöhre (873) koaxiale Abschirmröhre ausgebildet
ist.

30

60. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 51 bis 59,
gekennzeichnet durch eine Positioniereinrichtung (876)
zur Erzeugung einer Relativbewegung zwischen Förderende
(874) und Werkstück (801).

35

61. Vorrichtung nach Anspruch 60, dadurch gekennzeichnet,
daß die Positioniereinrichtung (876) eine Justier-
einrichtung (896) zur Feinpositionierung des Förderendes
(874) gegenüber dem Werkstück (801) umfaßt.

05

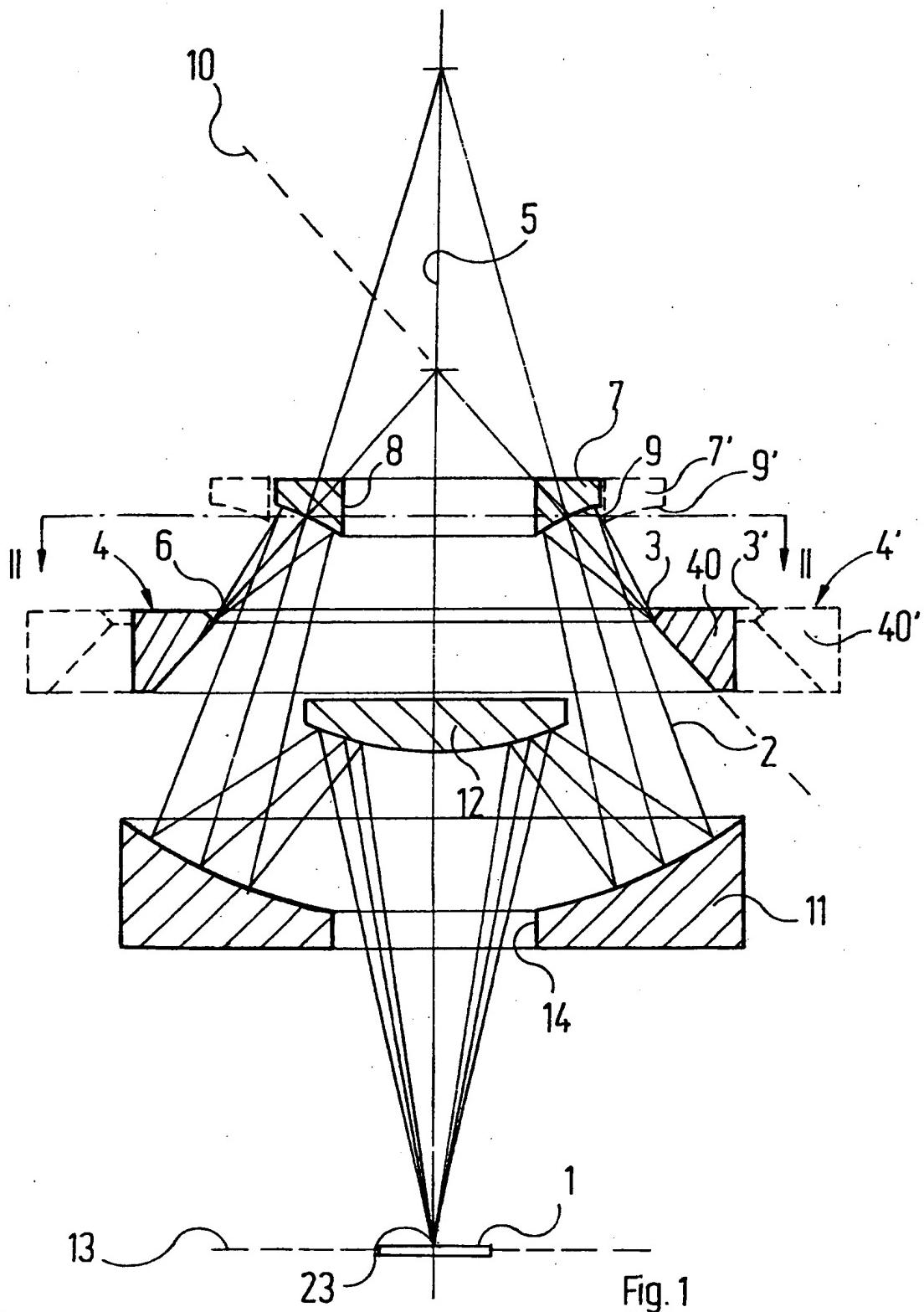
62. Vorrichtung nach Anspruch 61, dadurch gekennzeichnet,
daß die Justiereinrichtung (896) eine an der Förder-
einrichtung (872, 873) angebrachte Justier-Lichtquelle
aufweist, deren Strahlung kollimiert zumindest durch das
10 Förderende (874) der Fördereinrichtung (872, 873) geführt
ist.

63. Vorrichtung nach Anspruch 62, dadurch gekennzeichnet,
daß die Lichtquelle eine im sichtbaren Wellenlängen-
15 bereich arbeitende Laserdiode (896) ist.

64. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 61 bis 63,
dadurch gekennzeichnet, daß das Fluid ein dem Bear-
beitungsbereich (823) unter hohem Druck zugeführtes
20 Gas ist.

65. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, daß mehrere koaxial zur
optischen Achse (5) angeordnete Einzel-Lichtquellengruppen
25 (4, 4') vorgesehen sind.

1/13



2/13

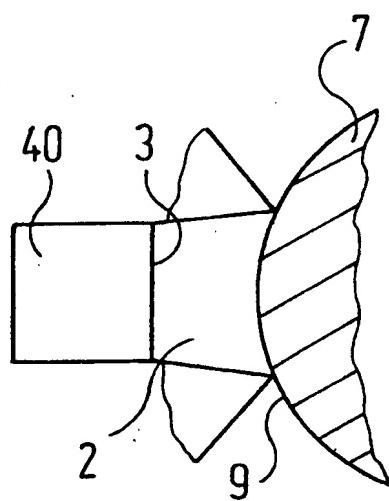
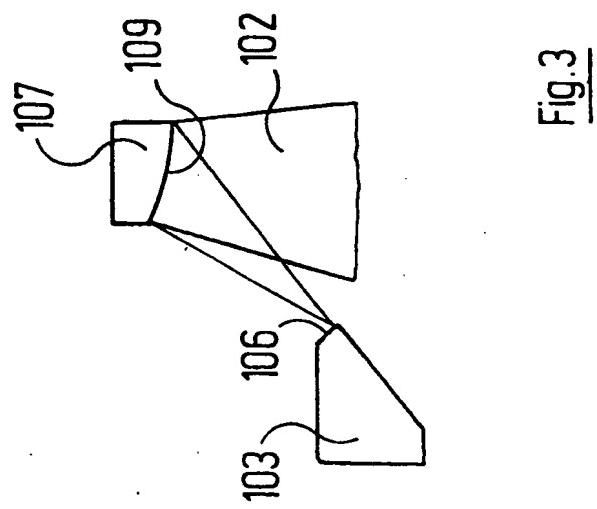
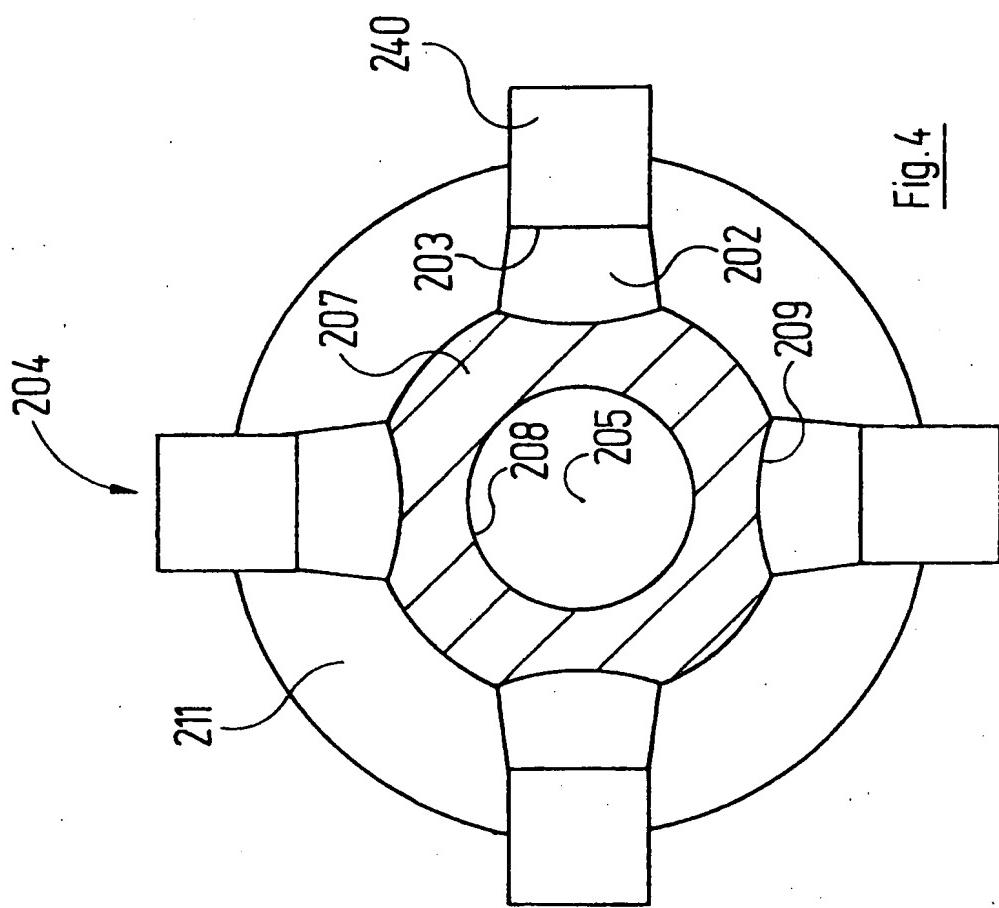


Fig. 2

3/13



4/13

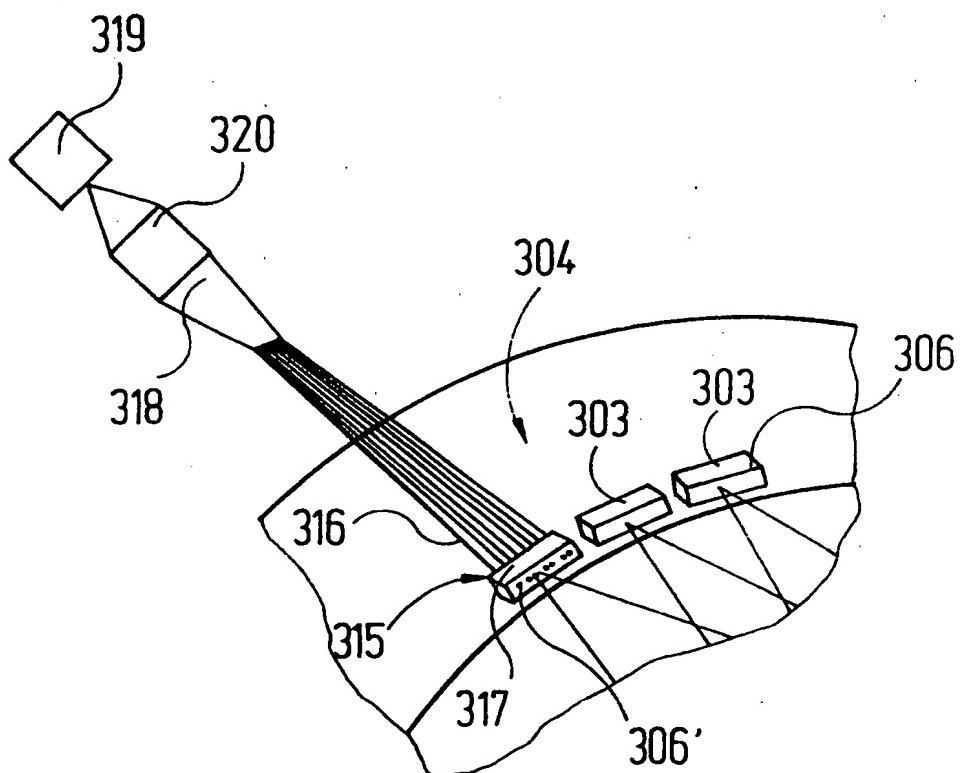
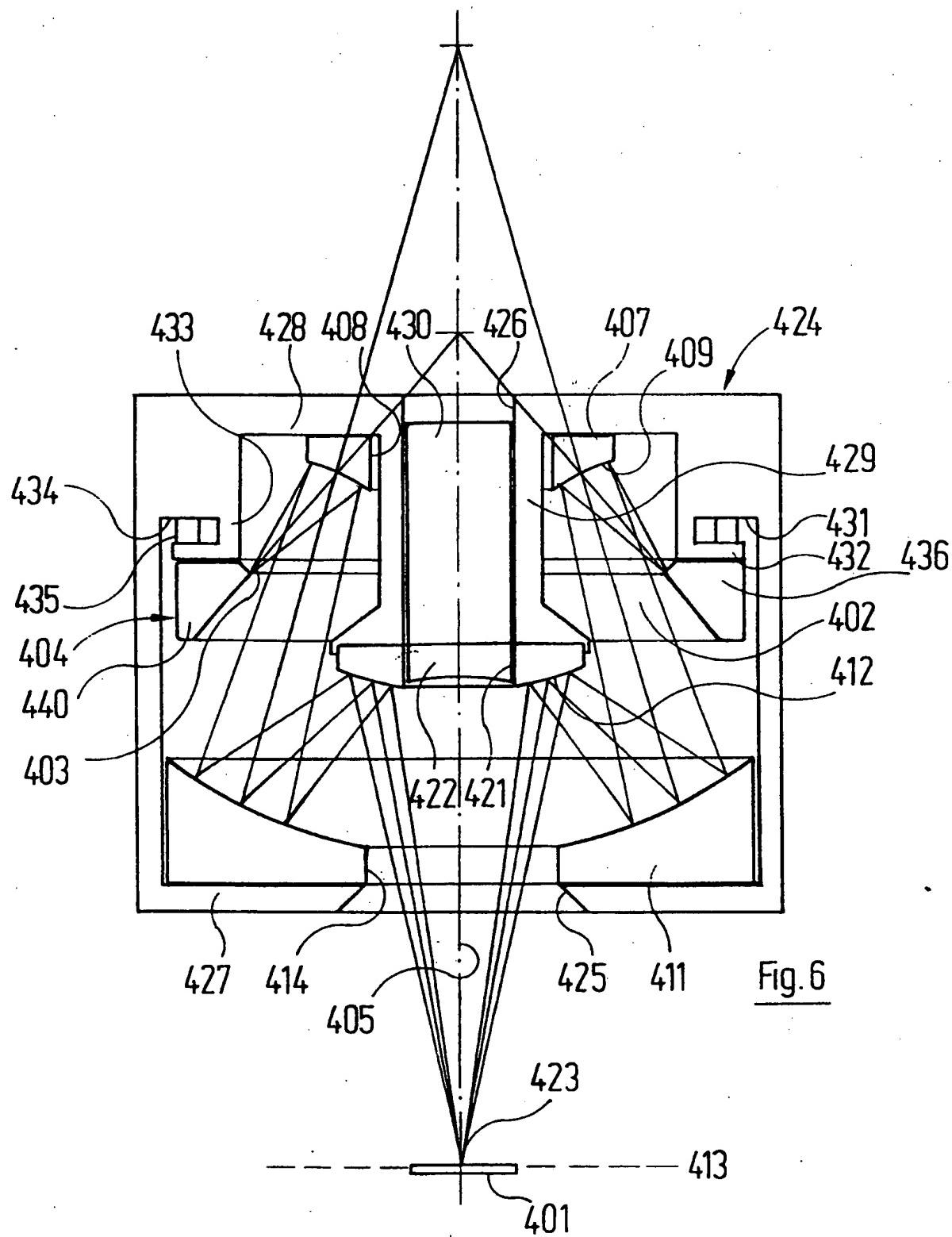


Fig. 5

5/13



6/13

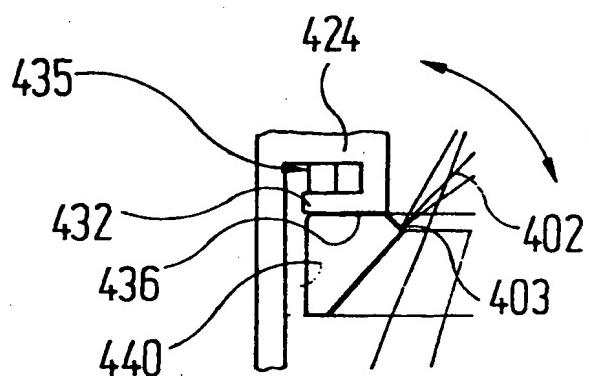


Fig. 7

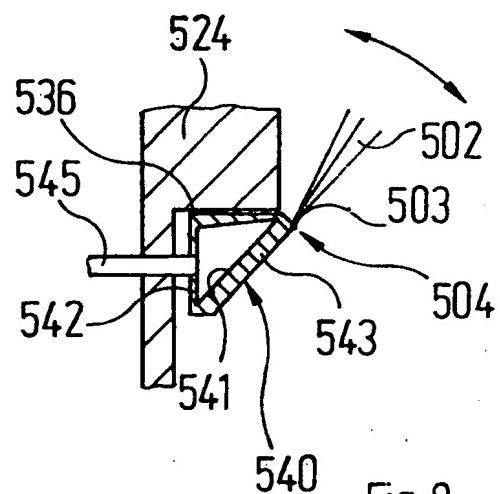


Fig. 8

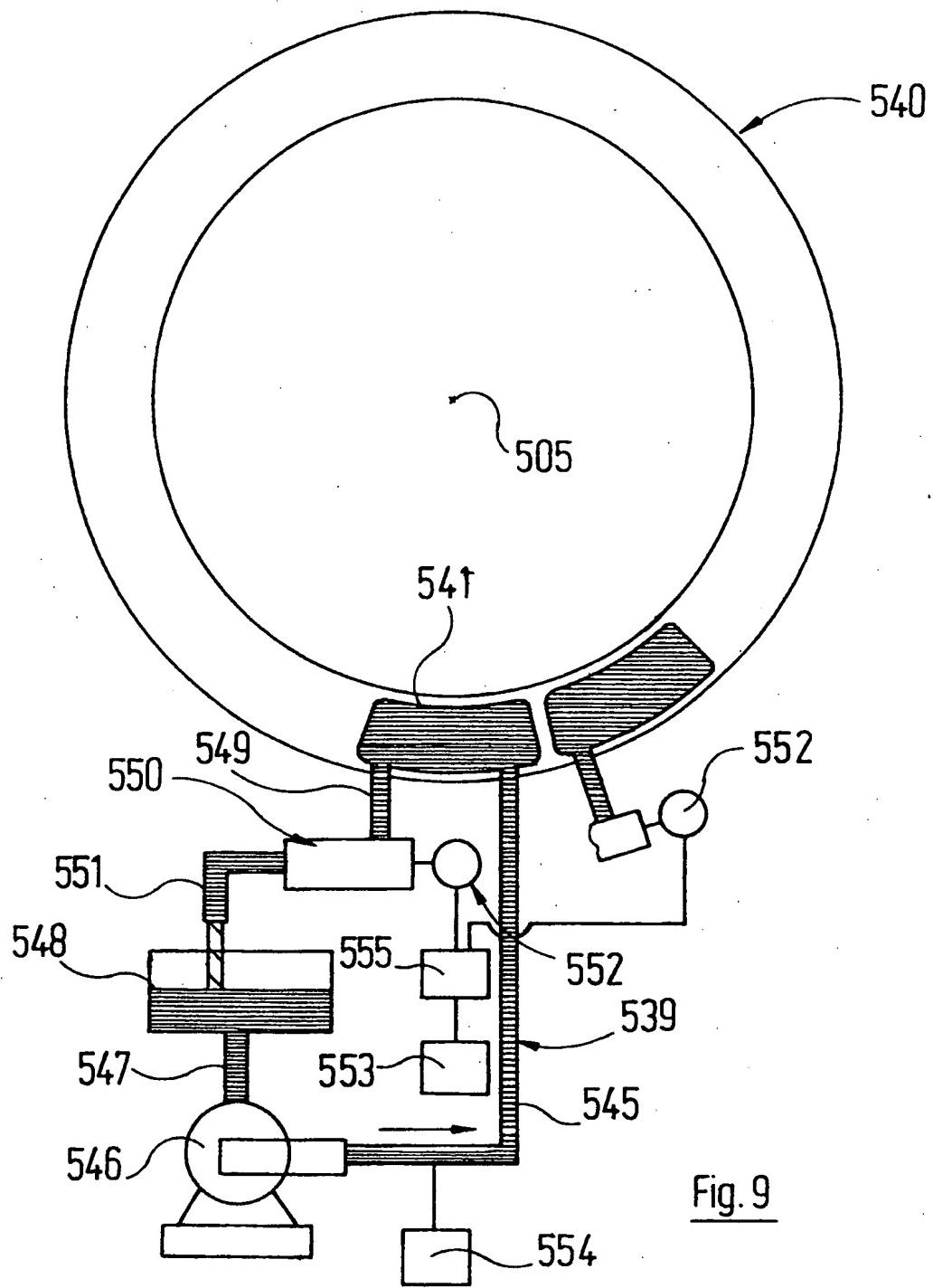
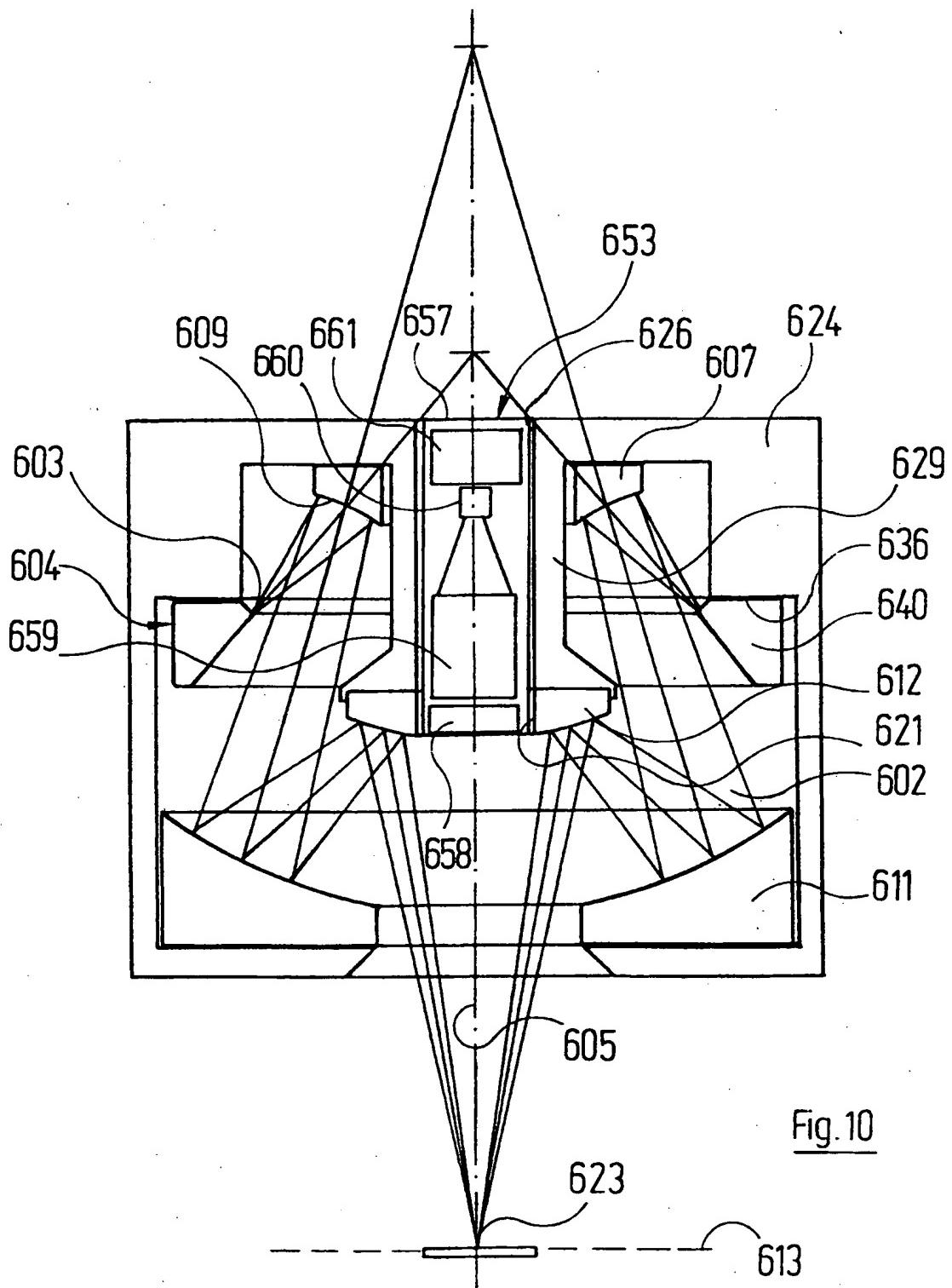


Fig. 9

8/13

Fig. 10

9/13

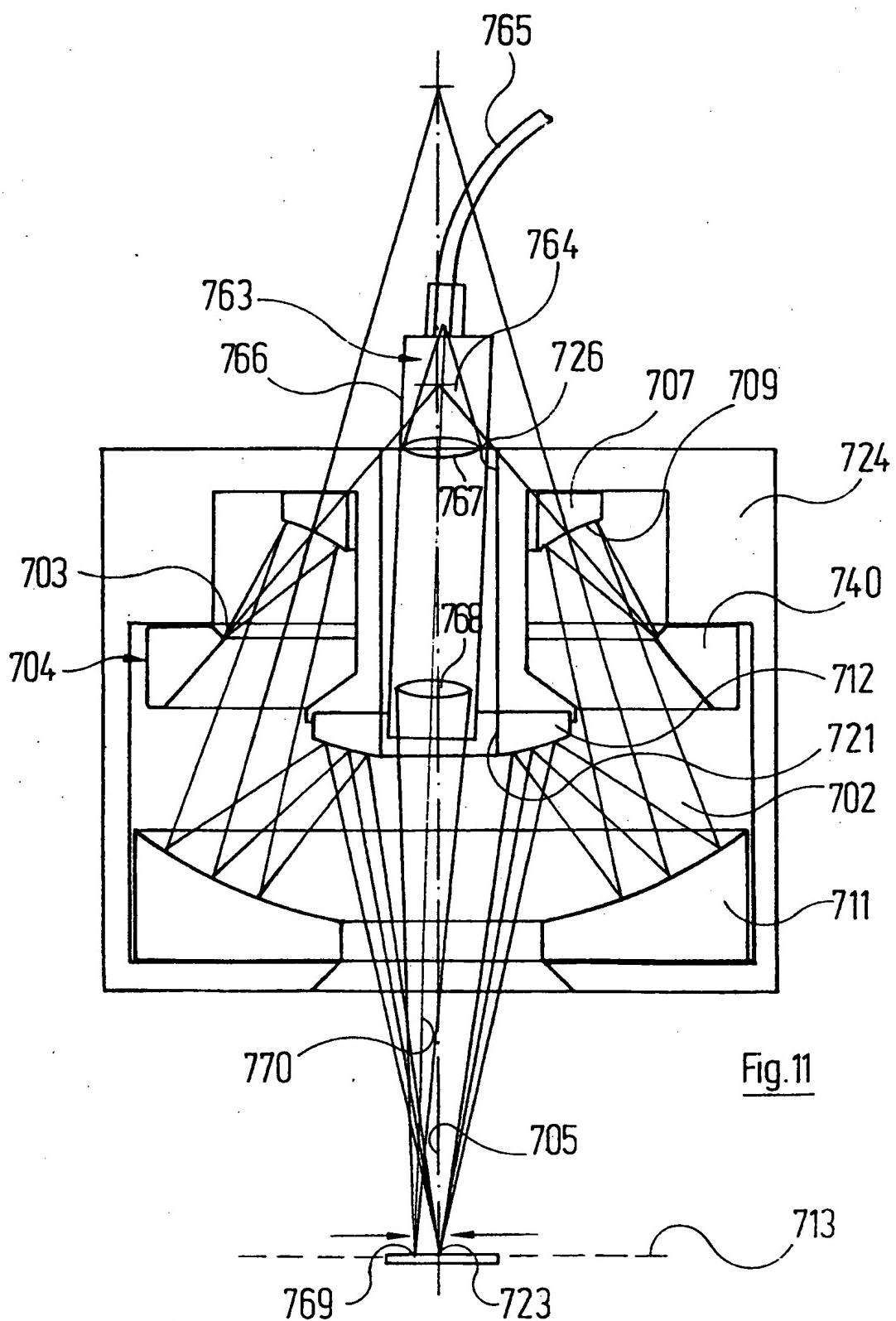
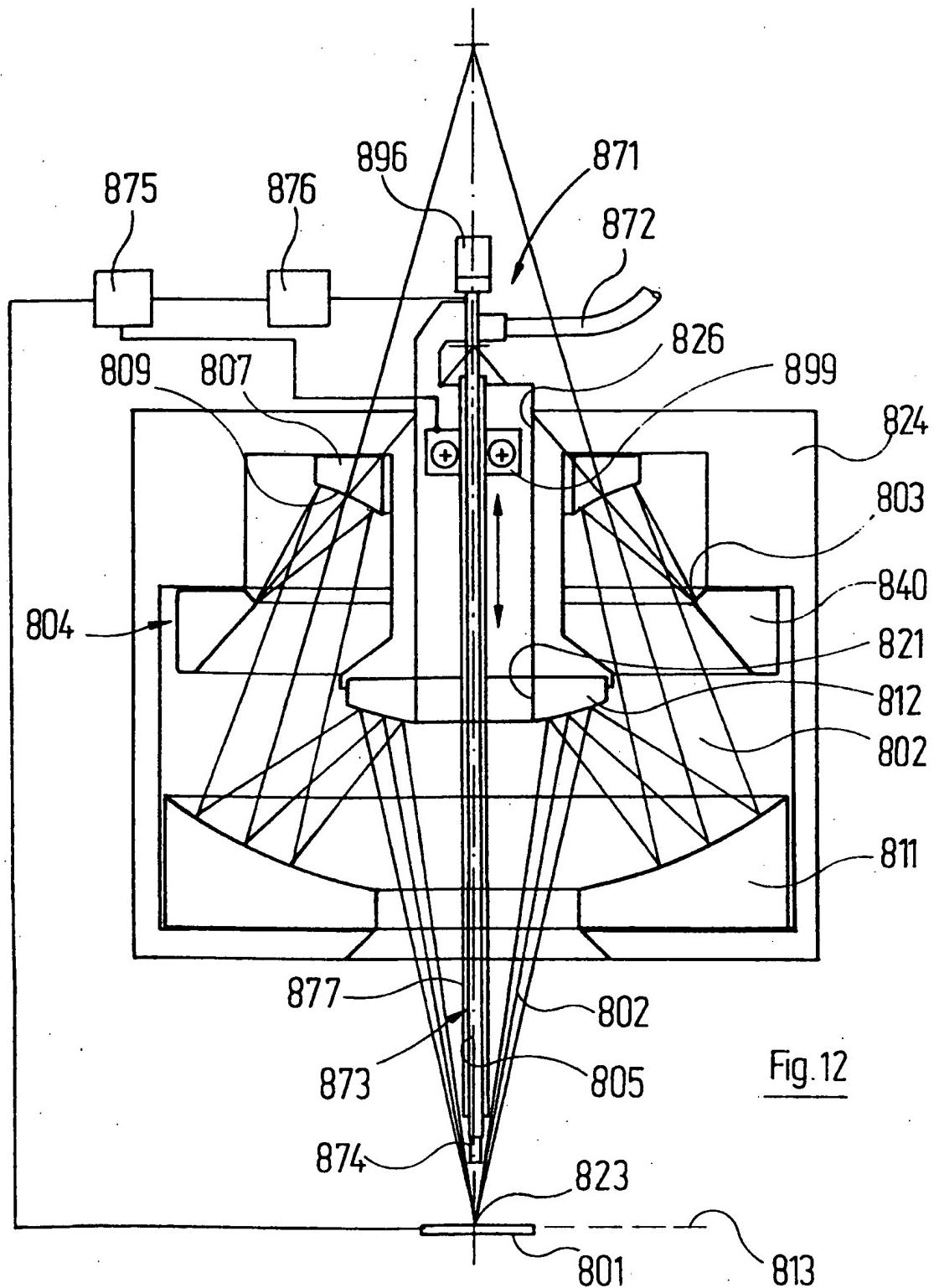
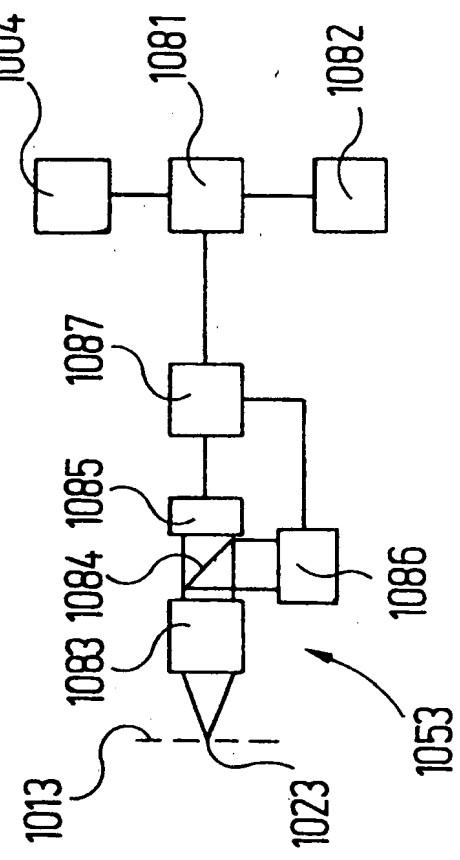
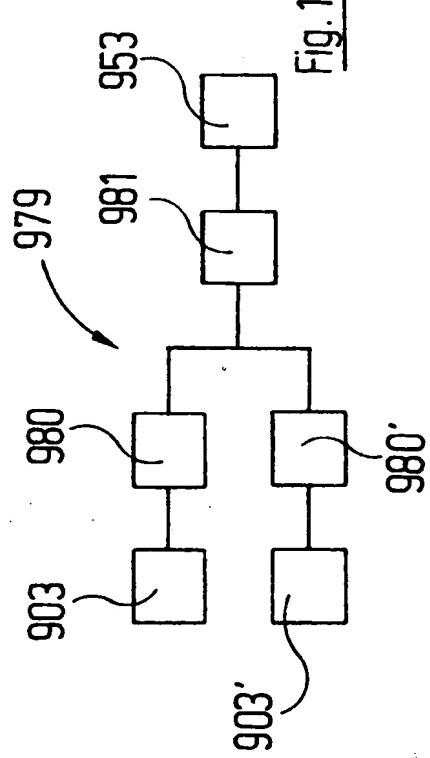


Fig. 11

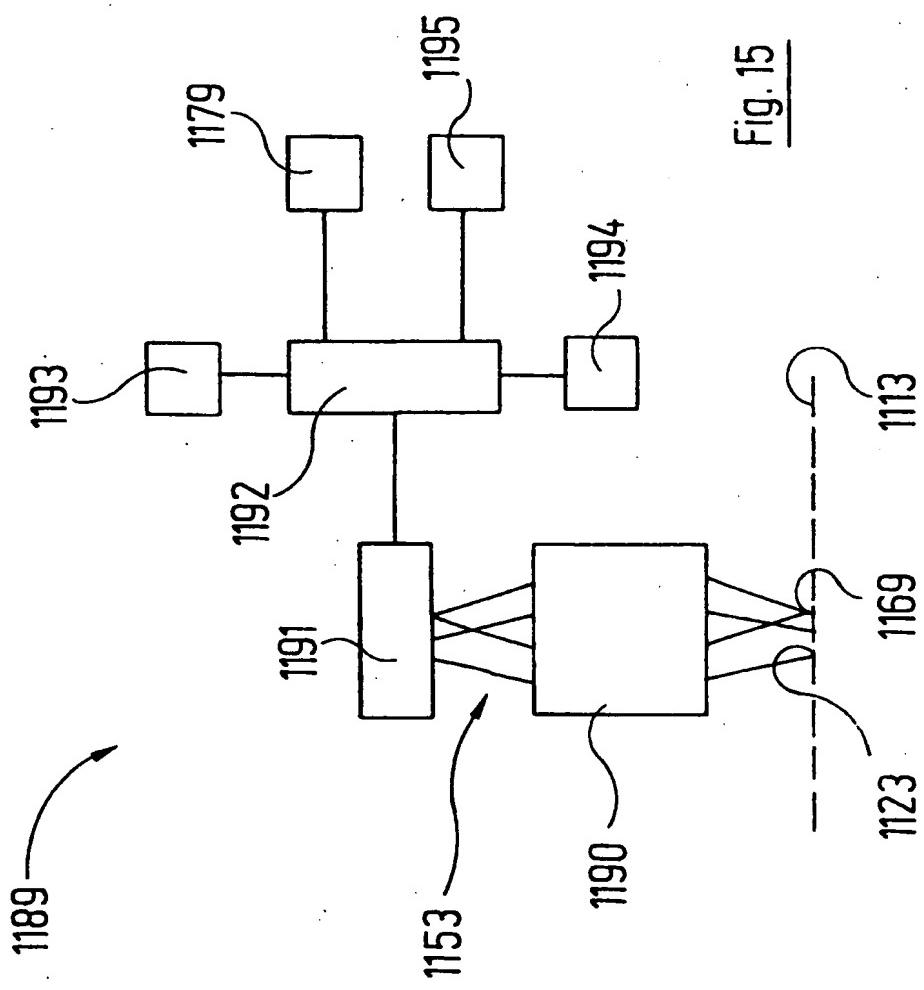
10/13



11/13

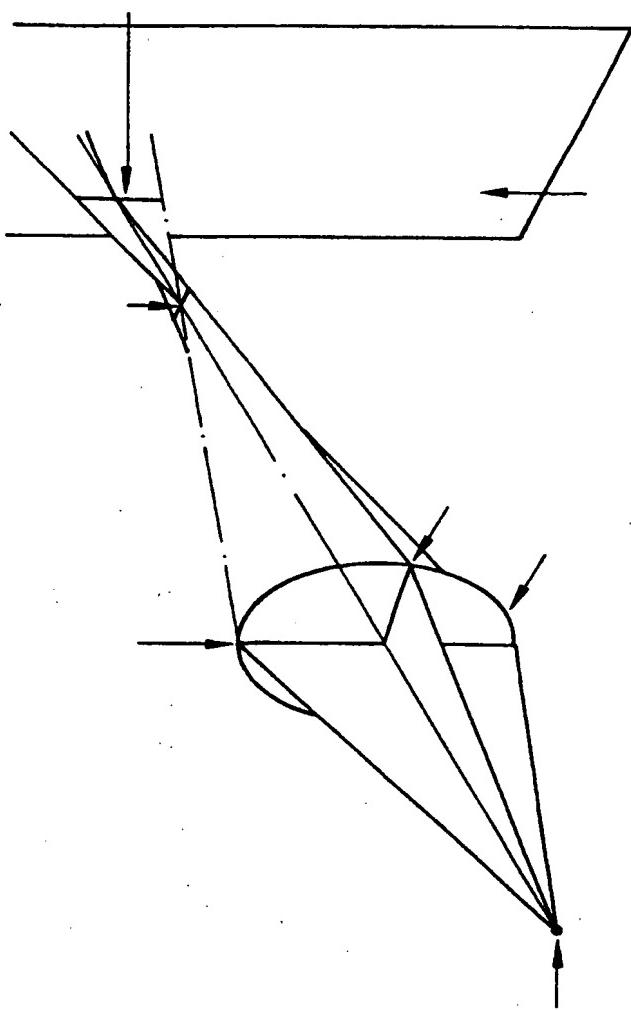


12/13



13/13

Fig. 16



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Intern. Application No
 PCT/EP 00/09683

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC 7 B23K26/02 B23K26/06 G02B27/14 H01S5/40				
--	--	--	--	--

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 B23K G02B H01S

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, PAJ

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 5 760 872 A (REIS WERNER ET AL) 2 June 1998 (1998-06-02) the whole document	1-15, 27-65
A	EP 0 570 152 A (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES ;TOYOTA MOTOR CO LTD (JP)) 18 November 1993 (1993-11-18) the whole document	1-15, 27-65
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 012, no. 257 (M-719), 20 July 1988 (1988-07-20) & JP 63 040694 A (TOYOTA MOTOR CORP), 22 February 1988 (1988-02-22) abstract	1-5
	-/-	

Further documents are listed in the continuation of box C.

Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- *Z* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

19 January 2001

Date of mailing of the international search report

26/01/2001

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl.
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Claessen, L

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Interr	nal Application No
PCT/EP 00/09683	

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 4 828 357 A (ARATA YOSHIAKI ET AL) 9 May 1989 (1989-05-09) the whole document _____	1
A	US 5 862 278 A (HUEGEL HELMUT ET AL) 19 January 1999 (1999-01-19) the whole document _____	1-5
A	US 4 826 269 A (STREIFER WILLIAM ET AL) 2 May 1989 (1989-05-02) the whole document _____	1-65
A	US 5 449 882 A (BLACK MICHAEL ET AL) 12 September 1995 (1995-09-12) abstract; figure 1 _____	1, 16-26

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP 00/09683

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)		Publication date
US 5760872	A 02-06-1998	DE 4316443 A		24-11-1994
		JP 7140392 A		02-06-1995
EP 0570152	A 18-11-1993	JP 2829192 B		25-11-1998
		JP 5318161 A		03-12-1993
		DE 69301759 D		18-04-1996
		DE 69301759 T		07-11-1996
		US 5303081 A		12-04-1994
JP 63040694	A 22-02-1988	NONE		
US 4828357	A 09-05-1989	JP 63272092 A		09-11-1988
		US 4953950 A		04-09-1990
US 5862278	A 19-01-1999	DE 19603111 A		07-08-1997
US 4826269	A 02-05-1989	NONE		
US 5449882	A 12-09-1995	NONE		

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP 00/09683

A. Klassifizierung des Anmeldungsgegenstandes
IPK 7 B23K26/02 B23K26/06 G02B27/14 H01S5/40

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 7 B23K G02B H01S

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, PAJ

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 5 760 872 A (REIS WERNER ET AL) 2. Juni 1998 (1998-06-02) das ganze Dokument	1-15, 27-65
A	EP 0 570 152 A (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES ; TOYOTA MOTOR CO LTD (JP)) 18. November 1993 (1993-11-18) das ganze Dokument	1-15, 27-65
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 012, no. 257 (M-719), 20. Juli 1988 (1988-07-20) & JP 63 040694 A (TOYOTA MOTOR CORP), 22. Februar 1988 (1988-02-22) Zusammenfassung	1-5 -/-

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

Siehe Anhang Patentfamilie

- * Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
- *A* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
- *E* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
- *L* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweiteilhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
- *O* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
- *P* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

- *T* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
- *X* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erforderlicher Tätigkeit beruhend betrachtet werden
- *Y* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erforderlicher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
- *&* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
19. Januar 2001	26/01/2001
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5018 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl. Fax: (+31-70) 340-3016	Bevollmächtigter Bediensteter Claessen, L

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP 00/09683

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 4 828 357 A (ARATA YOSHIAKI ET AL) 9. Mai 1989 (1989-05-09) das ganze Dokument	1.
A	US 5 862 278 A (HUEGEL HELMUT ET AL) 19. Januar 1999 (1999-01-19) das ganze Dokument	1-5
A	US 4 826 269 A (STREIFER WILLIAM ET AL) 2. Mai 1989 (1989-05-02) das ganze Dokument	1-65
A	US 5 449 882 A (BLACK MICHAEL ET AL) 12. September 1995 (1995-09-12) Zusammenfassung; Abbildung 1	1,16-26

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Intern	ales Aktenzeichen
	PCT/EP 00/09683

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie			Datum der Veröffentlichung
US 5760872 A	02-06-1998	DE	4316443 A		24-11-1994
		JP	7140392 A		02-06-1995
EP 0570152 A	18-11-1993	JP	2829192 B		25-11-1998
		JP	5318161 A		03-12-1993
		DE	69301759 D		18-04-1996
		DE	69301759 T		07-11-1996
		US	5303081 A		12-04-1994
JP 63040694 A	22-02-1988	KEINE			
US 4828357 A	09-05-1989	JP	63272092 A		09-11-1988
		US	4953950 A		04-09-1990
US 5862278 A	19-01-1999	DE	19603111 A		07-08-1997
US 4826269 A	02-05-1989	KEINE			
US 5449882 A	12-09-1995	KEINE			